Amanda Fernandes Pereira da Silva
(ORGANIZADORA)

INGENIERÍA

Desenvolvimiento de procesos y productos

2

Atena Editora

Ano 2023

Amanda Fernandes Pereira da Silva
(ORGANIZADORA)

INGENIERÍA 2

Desenvolvimiento de procesos y productos

CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA E ENGENHARIAS

Ingeniería: investigación, desarrollo e innovación 2

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Yaiddy Paola Martinez
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadora: Amanda Fernandes Pereira da Silva

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

I46 Ingeniería: investigación, desarrollo e innovación 2 / Organizadora Amanda Fernandes Pereira da Silva. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2023.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-258-1047-8
DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.478232706

1. Ingeniería. I. Silva, Amanda Fernandes Pereira da (Organizadora). II. Título.

CDD 620

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access, desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce,* ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

El desarrollo de la educación ligada al proceso de enseñanza-aprendizaje se ve con el análisis de las estrategias de información y conocimiento. Estos se difunden teniendo en cuenta la realidad de la sociedad inserta, demostrando soluciones formativas que corresponden a las necesidades de los individuos. Así, estarán preparados para la búsqueda continua del conocimiento y serán capaces de crear e innovar.

Dicho esto, este trabajo presenta los resultados de trabajos con diferentes aplicaciones en el campo de la Ingeniería y la Ciencia. Las propuestas de los estudios apuntan a atribuir la generación de conocimiento y ejecución de un producto. La investigación aplicada, la motivación en el desarrollo de la búsqueda de soluciones y la habilidad en la evaluación de problemas son algunos parámetros que se pueden identificar en los capítulos de este libro.

Por lo tanto, este trabajo muestra que la obtención de productos finales y la activación de recursos para emprender a los estudiantes a través de un proyecto desarrollado, promueve el aprendizaje colaborativo. De esta forma, los investigadores y científicos aprenden para transferir conocimientos innovando y desarrollando la sustentabilidad.

¡Buena lectura!

Amanda Fernandes Pereira da Silva

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 1

ANÁLISIS DE COHERENCIA EN POLÍTICAS DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y POLÍTICAS DE MOVILIDAD EN CIUDADES COLOMBIANAS

Fredy Armando Cuervo Lara

https://doi.org/10.22533/at.ed.4782327061

CAPÍTULO 2 16

ANÁLISIS DE IMPACTO DE LA AMPLIACIÓN DEL CANAL DE PANAMÁ EN EL TRÁFICO MARÍTIMO REGIONAL Y PERSPECTIVAS FUTURAS DE LA LOGÍSTICA MARÍTIMA REGIONAL

Fredy Armando Cuervo Lara

https://doi.org/10.22533/at.ed.4782327062

CAPÍTULO 3 28

ANÁLISIS DE IMPACTO DE LA DE OPERADORES GLOBALES DE TERMINALES PORTUARIOS EN EL MERCADO PORTUARIO COLOMBIANO

Fredy Armando Cuervo Lara

https://doi.org/10.22533/at.ed.4782327063

CAPÍTULO 4 39

APLICAÇÃO DO ANDROID PARA ESTUDAR AS VELOCIDADES ANGULARES DE UM MECANISMO DE DESLIZAMENTO POR MANIVELA

Vergara Hernández Erasto
Cea Montufar César Eduardo
Cerro Ramírez Miguel Angel
Fernández Anaya Alfredo

https://doi.org/10.22533/at.ed.4782327064

CAPÍTULO 5 48

COMPORTAMIENTO DE DEGRADACIÓN DE FIBRAS VEGETALES INCORPORADAS EN MATERIALES CEMENTOSOS

Laryssa Oliveira Bento
Thamila Barroso
Amanda Fernandes Pereira da Silva
Alisson Rodrigues de Oliveira Dias

https://doi.org/10.22533/at.ed.4782327065

CAPÍTULO 6 60

CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL EN INSTITUCIONES DE EDUCACIÓN PÚBLICAS O PRIVADAS

Alfonso Jorge Quevedo Martínez.
Martín Hernández Hernández.
Esiquio Martin Gutiérrez Armenta.
Marco Antonio Gutiérrez Villegas.
Israel Isaac Gutiérrez Villegas.

https://doi.org/10.22533/at.ed.4782327066

CAPÍTULO 7 73

CONFECCIÓN DE UNA HERRAMIENTA PARA DIAGNOSTICAR EL PROCESO DE DESARROLLO DE PRODUCTOS

Germán Rossetti
Melisa De Greef

https://doi.org/10.22533/at.ed.4782327067

CAPÍTULO 8 85

DESARROLLO DE MATERIALES MESOPOROSOS BASADOS EN SIO_2 PARA LA PERMEACIÓN DE GASES

S. J. Domínguez-León
J. A. Galaviz-Pérez
Z. B. Cuevas-Carballo

https://doi.org/10.22533/at.ed.4782327068

CAPÍTULO 9 93

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LECHO FLUIDIZADO CON CONTROL (PID) DE TEMPERATURA, FLUJO DE AIRE Y HUMEDAD PARA GRANOS DE QUINUA (Chenopodium quinoa willd)

Russel Allidren Lozada Vilca
Luz Gisela Pfuño Medina
Uriel Quispe Mamani
Yanet Violeta Sucari Sucari
Ciro William Taipe Huamán
John Carlos Quispe Chambi
Julio Cesar Laura Huanca
Madelaine Huánuco Calsín
Yaquelin Roxana Vilca Ramos
José Oscar Huanca Frias

https://doi.org/10.22533/at.ed.4782327069

CAPÍTULO 10.. 102

ESTUDIO COMPARATIVO DE SISTEMAS DE DESGRANADO DE MAÍZ, A PARTIR DE 4 PARAMETROS BASADOS EN SOSTENIBILIDAD

Jonatan Alí Ramos Rivera
Alejandro Cuauhtémoc Ramírez Reivich
María del Pilar Corona Lira.
Brandon Emmanuel Hernández Delgado

https://doi.org/10.22533/at.ed.47823270610

CAPÍTULO 11 125

FINANCIAL LIQUIDITY AND FINANCIAL COST FACTORS ASSESSMENT IN CONSTRUCTION GOVERNMENT CONTRACTS

José A. González-Fajardo
Erick J. Heftye-Cué
Jesús N. Zaragoza-Grifé
Sergio O. Álvarez-Romero

https://doi.org/10.22533/at.ed.47823270611

CAPÍTULO 12 144

FITOTOXICIDAD POR NANOTUBOS DE CARBONO MULTIPAREDES Y NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE GRAFITO EN PLANTAS DE *Raphanus Sativus*

R.H. Lira-Saldivar
B. Méndez-Argüello
I. Vera-Reyes
G. De los Santos-Villarreal

https://doi.org/10.22533/at.ed.47823270612

CAPÍTULO 13 158

SIMULACIÓN NUMÉRICA MICROESTRUCTURAL EN EL ESTUDIO DEL MAQUINADO DE ACEROS AL CARBONO RESULFURADOS

Pablo Alejandro Correa
Edwan Anderson Ariza

https://doi.org/10.22533/at.ed.47823270613

CAPÍTULO 14 185

USO DE AERONAVES NO TRIPULADAS (DRONES) PARA LA INSPECCIÓN DE MONUMENTOS ARQUITECTÓNICOS Y CONSTRUCCIONES ANTIGUAS

Rubén Rodríguez Elizalde

https://doi.org/10.22533/at.ed.47823270614

CAPÍTULO 15 200

USO DE CAL VIRGEM NO TRATAMENTO DE ÁGUA POTÁVEL

Milena Ripoll
Eduardo Mena
Flavia Piñeiro

https://doi.org/10.22533/at.ed.47823270615

SOBRE A ORGANIZADORA 206

ÍNDICE REMISSIVO 207

CAPÍTULO 1

ANÁLISIS DE COHERENCIA EN POLÍTICAS DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y POLÍTICAS DE MOVILIDAD EN CIUDADES COLOMBIANAS

Data de aceite: 02/06/2023

Fredy Armando Cuervo Lara
Ingeniero en Transportes y Vías- Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Candidato a Doctor en proyectos –Universidad Internacional iberoamericana. México, Magister en Diseño, Gestión y Dirección de Proyectos- Universidad Internacional Iberoamericana de Puerto Rico, Especialista en Logística Comercial Internacional- Universidad Jorge Tadeo Lozano. Jefe de planeación Universidad Cooperativa de Colombia- Santa Marta. Docente Universidad Cooperativa de Colombia, Docente Universidad Sergio Arboleda. Docente Universidad Del Magdalena- Colombia.

RESUMEN: Esta investigación pretende determinar el nivel de coherencia entre las políticas de ordenamiento territorial y políticas de movilidad materializadas en la ejecución de los planes de movilidad urbana. El conjunto muestra incluyó 6 ciudades colombianas, las cuales están se seleccionaron por su importancia nacional y por su nivel de desarrollo en proyectos de movilidad, las ciudades analizadas fueron Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla, Cartagena y Santa Marta. La metodología aplicada incluyó el análisis del modelo de ordenamiento territorial, partiendo de un análisis de políticas, objetivos estratégicos, alcances y resultados del ordenamiento territorial objetivos estratégicos, proyectos y prospectiva de ciudad, igualmente se analizó el modelo de movilidad a la luz del plan, la estrategia de movilidad, desglosando el enfoque modal y resultados de los proyectos de movilidad. Posteriormente se realizó un análisis comparativo de coherencia entre plan de ordenamiento y plan de movilidad, basado en las acciones enfocadas en movilidad, valorando el nivel de madurez del modelo de ordenamiento, modelo de movilidad, para identificar la relación con los procesos asociados al mejoramiento de la movilidad de la ciudad. La información fue recopilada en una revisión documental exhaustiva de cada ciudad y se aplicaron encuestas a planificadores urbanos, para identificar elementos que contribuyen a la implementación de los planes de movilidad en las ciudades. El análisis, procesamiento y contextualización de la información de los modelos de ordenamiento territorial y modelos de movilidad dio como resultado que el 60% de las políticas identificadas en los planes de ordenamiento, que se relaciona con la movilidad presentaron una

alineación moderada en cuanto a su objeto, que implementar mejoras en la movilidad. El 45% de los aspectos de ordenamiento y movilidad analizados en las ciudades, presentaron un desbalanceo de la estrategia de ordenamiento territorial y la estrategia de movilidad, orientado a fortalecer y priorizar objetivos de transporte público y no motorizado, pero que en realidad no se reflejan en las acciones de ciudad. Por otra parte el análisis de maduración del modelo de movilidad, muestra como la planificación de ordenamiento tiene decisiones estratégicas de ciudad que determinan las decisiones de movilidad, en el 40% de ciudades analizadas, el 55% de las acciones analizadas presentan deficiencias en la ejecución, el componente presupuestal depende de las decisiones de grandes proyectos que como en el caso Bogotano, aun están por definir y cambiaran el panorama financiero, así como el 60% de los recursos están centrados en los municipios, lo cual limita los alcances y sostenibilidad de los planes de movilidad. El estudio concluye que a pesar de contar con una herramienta de planificación como el POT, este ha sufrido muchos obstáculos en su implementación y por ende ha afectado las decisiones en movilidad, el reto está concentrado en lograr las metas de movilidad que están orientadas a priorizar acciones sobre el transporte público y no motorizado.
PALABRAS CLAVE: Procesos, Planeación, ordenamiento territorial, planes de movilidad, transporte público.

1 I INTRODUCCIÓN

Es indudable que la gestión de la movilidad en una ciudad, determina la competitividad y la posibilidad de crecimiento y posterior desarrollo de la ciudad, por esta razón la ciudad adecua su estructura a los retos que enfrenta en el presente y futuro, en aspectos relacionados con ordenamiento territorial, localización de actividades, usos de suelo, movilidad de personas y carga.

Este estudio se centra en la necesidad de encontrar coherencia entre las políticas de ordenamiento de la ciudad y las políticas de movilidad, específicamente en los procesos relacionados con definición de la estructura de ciudad, los proyectos futuros de localización y usos de suelo, analizando el nivel de madurez de su modelo territorial, su modelo de movilidad en ciudades con múltiples diferencias, como las que se analizaron en este trabajo.

La encuesta nacional logística muestra que las principales barreras que impactan la logística de los usuarios de servicios logísticos son: altos costos de transporte con 32%, insuficiencia de infraestructura 21%, falta de sistemas de información logística 19% y complejidad en trámites aduaneros con 12%. Estos resultados evidencian el problema de movilidad en las ciudades, evidencian que los modelos de ordenamiento se están quedando en teoría, evidencian que estructura de ciudad y movilidad deben estar alineadas para lograr competitividad.

2 I REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Antecedentes de ordenamiento Territorial

Un territorio se proyecta en función de sus potencialidades y de la capacidad de aprovechamiento de las mismas, a partir de la exploración, explotación, proyección de los recursos disponibles; así mismo las relaciones del territorio marcan una posibilidad de estrategias a adoptar para poder aprovechar racionalmente los recursos y lograr desarrollo territorial a partir del bienestar que se provee a los habitantes del territorio.[1]

La triada ordenamiento territorial, logística urbana y necesidades de movilidad

El ordenamiento territorial pretende proveer una lógica de la ocupación del territorio, basada en la regulación de uso de suelo[2], la armonía y compatibilidad de actividades, la provisión de facilidades básicas, el desarrollo de infraestructura para garantizar que la lógica territorial permita materializar el desarrollo esperado en la región.

La logística urbana, o logística de la última milla,[3] abarca todos los movimientos relacionados con la actividad comercial y el suministro y distribución de bienes en las ciudades, por lo que es fundamental para su desarrollo económico. También es uno de los principales causantes de la congestión del tránsito y de la emisión de contaminantes. Las relaciones establecidas por los habitantes de una ciudad se basan en gran medida en este intercambio

La problemática termina evidenciándose en congestión vehicular, excesivos tiempos de viaje, problemas de contaminación, inseguridad, que terminan siendo solamente la punta del iceberg, los planeadores y ejecutores de políticas se centran en solucionar parte de la problemática visible y dejan de lado la verdadera génesis de la situación, que es la incipiente falla de ordenamiento territorial, la cual desencadena toda suerte de problemáticas operativas, económicas, sociales, entre otras.

2.2 Antecedentes de política de ordenamiento territorial en Colombia

Haciendo una revisión de antecedentes de la política de ordenamiento territorial, se deben considerar 4 periodos[4], en cada una de ellas se presentaron momentos significativos que orientaron las decisiones de ordenamiento: Periodo 1 1940-1980, ,se caracterizó por la violencia y su migración generada a las ciudades Periodo 2 1980-1990, Se caracterizo por el crecimiento de las ciudades, la informalidad inicia su ascenso y la ilegalidad en los barrios , periodo 3 1990-2010. Se caracterizó por el crecimiento desordenado en grandes

---

1 Capel H.(2016).Las ciencias sociales y el estudio de territorio. Revista bibliográfica de Geografía, Vol. XXI. Recuperado de http://www.ub.edu/geocrit/b3w-1149.pdf

2 Mendoza M. (2005).Ordenamiento territorial y conservación de la diversidad. Revista zonas áridas, ,volumen (9).149-154. Recuperado de Downloads/574-2288-1-PB.pdf

3 Pineda S.(2017).El reto logístico de la última milla. Revista empresarial.com. Recuperado de https://revistaempresarial.com/pymes/el-reto-logistico-de-la-ultima-milla/

4 Villamil M. Ordenamiento territorial a través del tiempo. Perspectiva geográfica. Volumen (15). 143-156. Recuperado de Dialnet-ElOrdenamientoTerritorialEnColombiaATravesDelTiemp-3736896.pdf

ciudades, la concentración urbana de actividades y se evidencia la desarticulación, Periodo4 2010-actualidad, se caracterizó por contar con POT con enfoque integral local y urbano, se vincula el componente de gestión de riesgo.

2.3 Las ciudades involucradas en el estudio

El conjunto muestra del estudio incluyó POT y Planes de movilidad, de las capitales de los departamentos de Cundinamarca, Antioquia, Atlántico , Valle, Bolívar y Magdalena., entendiendo que de acuerdo a la legislación Colombiana estas 6 ciudades deben contar con POT [5]y con Plan de movilidad, se muestra que una de ellas no evidencia plan de movilidad a la fecha, pero se tienen unas políticas de movilidad que serán analizadas. La legislación colombiana establece que ciudades con más de 100.000 habitantes deben tener Plan de ordenamiento territorial,

2.4 Marco Legal Nacional de planes de ordenamiento y planes de movilidad

La legislación Colombiana a partir del año 1991, con la creación del Ministerio de transporte, entró en un proceso de renovación y modernización que involucró dos los modos de transporte, inicialmente se promulgo la ley que reglamento el sistema nacional de transporte y posteriormente se fueron reglamentando las diferentes modalidades de transporte a partir del estatuto nacional de transporte. De igual manera el ordenamiento territorial fue reglamentado, a partir la legislación emitida en 1997, En el siguiente cuadro se resumen.[6]

Reglamentación	Que regula
La ley 105 de 1993 Sistema nacional de Transporte	la cual enuncia los principios del transporte, atribuye competencias en materia de transporte, impone reposición de vehículos de transporte público colectivo.
Ley 336 de 1996 Estatuto nacional de transporte,	por la cual se adopta el estatuto de transporte, establece normas de creación de empresas de transporte, define formas de prestación de servicio de transporte, dicta normas sobre equipos
La ley 310 de 1996,	dicta disposiciones sobre transporte masivo y especifica las condiciones técnicas para cofinanciar sistemas de transporte público masivos
Ley de ordenamiento territorial 388 de 1997	mediante la cual se establecen los planes de ordenamiento territorial Municipales y las herramientas de planificación de municipios.
Ley 1454 de 2011 (LOOT)	por medio de la cual se dictan normas orgánicas sobre ordenamiento territorial y ambiental se modifican otras disposiciones
Ley 1083 de 2006,	por la cual se dictan normas de planificación sostenible y se adoptan planes de movilidad para municipios con POT.

Tabla 1. Reglamentación en Movilidad y ordenamiento territorial

5 Prieto J. , Luengas E (2016).Ley orgánica ordenamiento territorial como instrumento de Ordenamiento territorial y ambiental. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá.
6 Ministerio de Transporte Colombia (2018). Normatividad. Recuperado de https://www.mintransporte.gov.co/Documentos/Normatividad

3 | METODOLOGÍA

La metodología aplicada incluyó el análisis del modelo de ordenamiento territorial de cada ciudad , partiendo de un análisis de políticas, objetivos estratégicos, alcances y resultados del ordenamiento territorial proyectos y prospectiva de ciudad; igualmente se analizó el modelo de movilidad de cada ciudad en sus diferentes componentes: la estrategia de movilidad, los proyectos de movilidad, la sostenibilidad del modelo , desglosando el enfoque modal y resultados de los proyectos de movilidad.

Posteriormente se realizó un análisis comparativo de coherencia entre plan de ordenamiento y plan de movilidad, basado en la aplicación de lineamientos de POT moderno, emitidos por El departamento nacional de Planeación de Colombia; para tal fin se aplico un instrumento de valoración a cada POT, incluyendo los componentes de visión, competitividad, sistemas de información e institucionalidad. Esta valoración fue aplicada por planificadores urbanos y por el equipo de trabajo del proyecto, valorando el nivel de madurez del modelo de ordenamiento

Para la valoración de coherencia de las políticas de ordenamiento territorial relacionadas con movilidad en POT y la realidad del plan de movilidad de cada ciudad , se aplico un instrumento de valoración, construido a partir de los lineamientos de la Ley de planificación urbana, considerando componentes como: componentes de movilidad en POT, articulación con proyectos de infraestructura, reorganización del transporte público, creación de zonas sin tráfico, creación de zonas de baja emisión de contaminantes, implementación de plan de estacionamiento.

4 | RESULTADOS OBTENIDOS

Un punto de partida es que en lo referente a la vigencia de los planes de ordenamiento, según el DNP, 886 no están vigentes y representan el 81% del total[7] . El 61% de la población se encuentra en centros urbanos del sistema de ciudades. Cerca del 76% del PIB Nacional se genera en estos centros, se cuenta con 41 ciudades con más de 100.000 habitantes. El conjunto de ciudades mayores de 100 mil habitantes corresponde a 18 aglomeraciones urbanas que reúnen 113 municipios, 16 municipios que son ciudades uninodales. Las ciudades menores a 100 mil habitantes , se tienen 8 capitales de departamento, 14 municipios con función subregional. El sistema de ciudades cuenta con 151 municipios de los 1101 municipios del país, representan el 13.7% con una población de 27.6 millones de habitantes, el sistema cuenta con las siguientes aglomeraciones:

Los Planes de ordenamiento Territorial - POT modernos

Los POT surgen como una propuesta estratégica para lograr los objetivos de mejoramiento del territorio, el contenido de los POT modernos debe partir de la visión futura,

7 Departamento Nacional de planeación. Colombia.(2016) Avance en planes de ordenamiento. Recuperado dehttps://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Presentaciones/20170217%20CARTAGENA%20POT%20MODERNOS.pdf

incorporar el componente de competitividad, institucionalidad [8] y deben estar soportados en sistemas de información, desplegando cada componente en aspectos específicos.

Aspectos críticos identificados en los planes de ordenamiento territorial. La revisión de planes de ordenamiento territorial por parte del DNP, ha generado una matriz de identificación de puntos críticos en 8 componentes: suelo urbano, suelo de expansión, suelo de protección, suelo rural, información, visión subregional y financiación. Entre los puntos críticos comunes se destaca: El 60% definió inadecuadamente su perímetro, El 32% no clasificó uso suelo de expansión, El 14% no incluyó suelo de protección, Ningún municipio incluye acciones regionales, 21% de los planos no están geo-referenciados, Bajo recaudo de ingresos por POT

4.1 Características del Plan de ordenamiento territorial de Bogotá: Apuesta de Bogotá al crecimiento compacto

En el plan de ordenamiento de la ciudad de Bogotá le apuesta a un crecimiento polinuclear, en el cual múltiples núcleos urbanos logren potencializar el desarrollo compacto de la ciudad, convirtiéndose en centros funcionales que en forma lógica y ordenada logren cumplir con las expectativas de desarrollo de la población. En cuanto al uso de suelo en Bogotá la distribución porcentual es la siguiente: Comercio 20%, industrial 5%, dotacional 15%, residencial y otros usos 60%, en la ciudad predomina el uso de suelo residencial. En la estructura socioeconómica de la ciudad predomina el estrato 2, 3,4 en un 80% del área de la capital, el estrato 0 y 1 corresponde a 15% y estratos 5 y 6 corresponden a 5%.

Los sistemas de movilidad de la ciudad de Bogotá presentan una estructura reticular cuyo eje central son 7 [9] troncales del servicio de Transmilenio, complementado por una red de rutas alimentadoras. Las áreas de reserva de la ciudad se concentran en los cerros orientales, hacia el sur , occidente y norte de la ciudad el área de reserva natural corresponde apenas a un 5% el área total de la ciudad.

4.2 Características del sistema de ordenamiento territorial de Medellín

El sistema de ordenamiento territorial de la ciudad tiene dos sistemas principales, sistema físico espacial, el cual se subdivide en sistemas públicos y colectivos[10]: estructura ecología , espacio público y movilidad; por otra parte están los sistemas de ocupación, el otro componente es el sistema institucional y de gestión, el cual está integrado por los instrumentos de gestión, riesgo y cambio climático, participación evaluación y seguimiento.

Sistema estructurante de Medellín, cuenta con tres ejes estructurantes, ejes de movilidad y ejes de bordes de quebradas, Espacio público, límites de ciudad, limite urbano, en la figura se observa el sistema estructurante. Las estrategias urbanísticas del plan de

8 Departamento nacional de Planeación Colombia (2017). POT modernos. Recuperado de https://www.dnp.gov.co/Paginas/A-partir-de-hoy,-100-municipios-y-25-departamentos-le-apuestan-a-ser-territorios-modernos-DNP.aspx
9 Transmilenio S.A. (2017)Estadisticas de oferta y demanda. Recuperado de http: //www .transmilenio.gov.co /Publicaciones/estadísticas _de_oferta_y_ demanda_del_ sistema_integrado _de_transporte_public o_sitp_noviembre_2017
10 Alcaldía de Medellín. (2017). Nuevo POT Medellín, Una ciudad para la gente , una ciudad para la vida. Recuperado de http://acimedellin.org/wp-content/uploads/2017/06/RevistaPOT2014.pdf POT Medellín

ordenamiento se orientan a armonizar alianzas publico –privadas, rehabilitar el centro, nueva movilidad, generar presencia institucional, mejorar el espacio público, revitalizar el patrimonio cultural. En la estrategia de nueva movilidad se destaca el concepto de súper manzanas de red básica, red secundaria, supe manzana parqueadero y supe manzana tránsito peatonal y bicicletas

4.3 El Modelo de ordenamiento Territorial de Cali

El modelo de ordenamiento de Cali establece una estrategia socio económica, estrategia ambiental y de borde urbano, estrategia funcional, en el mapa se observa la distribución espacial de la estrategia. La Estrategia socio económica presenta las centralidades mixtas concentradas en el centro de la ciudad y hacia el sur, las centralidades industriales presentan una concentración en el corredor nororiental y corredores estratégicos que atraviesan la ciudad de norte a sur. [11] La clasificación de suelo muestra como el 30% del área de la ciudad corresponde a suelo urbano, y un 10% área de expansión localizada hacia el sur de la ciudad, el área rural corresponde al 60% del área total.

La red de ciclo rutas actual es una red inconexa que no supera los 20 km, el POT propone una red que llegue a todos los puntos de la ciudad, dotando de equipamiento de 60 puntos de parqueaderos para bicicletas. El sistema integrado de transporte masivo que propone el POT, está integrado por una red de 2 troncales de norte a sur, una perimetral por el oriente y una transversal de oriente a occidente

4.4 El modelo de ordenamiento de Barranquilla

El POT de Barranquilla , establece 7 zonas dentro de la ciudad, Riomar, Ribera occidental 1 , Prado norte, suroriental, suroccidental, centro, centro metropolitano; En cuanto a clasificación de suelo en Barranquilla se observa como el suelo urbano predomina en el área de la ciudad, casi en 60% de la extensión de la ciudad, los suelos de expansión urbana se encuentran localizados hacia el occidente y suroccidente de la ciudad, la ciudad tiene límites muy cercanos con municipios como Puerto Colombia, Galapa, Soledad; el suelo rural de barranquilla es muy limitado, su área cada vez es más reducida. Los suelos de protección se encuentran hacia la ciénaga de mallorquín

El sistema de transporte masivo transmetro es un eje estructural de la movilidad de la ciudad que está en su primera fase, cuenta con una línea troncal por la calle 45 y otra line de oriente a occidente por la carrera 46, cuenta con 6 rutas principales alimentadoras que proporcionan acceso a la comunidad al sistema.

4.5 El modelo de ordenamiento de Cartagena

La clasificación del suelo del distrito de Cartagena presenta una franja de área de rural que representa casi el 40% del área del distrito, el suelo urbano está localizado hacia

11 Alcaldía de Cali.(2017).POT de Cali. Recuperado de http:// www.cali. gov.co/planeación /publicaciones/ 106497/ pot_2014_idesc/

el centro del distrito y representa el 20% del área total. El área suburbana corresponde a 35%, el área de expansión representa el 3% y las zonas de protección de manglar representan el 2%.

En cuanto al uso de suelo el distrito de Cartagena el suelo residencial y sus diferentes tipos representa el 20% del área total, el suelo, el uso de suelo mixto está localizado en la periferia del área urbana, el uso de suelo industrial, está localizado hacia el sur de la ciudad ocupando un 15% del área total del distrito, el uso comercial está distribuido por toda el área urbana y representa el 5% del área total. En la figura se observa la distribución de uso de suelo.

El Uso de suelo del área urbana se observa una saturación de espacio en la zona urbana y una mezcla de usos de suelo que ya han generado proyecciones de reubicación de actividades. La s áreas de expansión urbana representan apenas un 8% del área total, lo cual dificulta la provisión de espacios para descongestionar la ocupación del área urbana actual.

4.6 Estrategia de movilidad Bogotá

El plan maestro de movilidad de Bogotá presenta una planeación con enfoque integral y sectorial en torno a la movilidad de la ciudad, los niveles que integra el plan son el nivel de planeación de territorio, con las variables de uso de suelo y flujos de transporte y el nivel sectorial con la logística de movilidad y su infraestructura.

Política de movilidad sostenible. La política de movilidad sostenible de Bogotá, es una política que está basada en 8 lineamientos[12], los cuales son: Movilidad sostenible y competitiva, peatón prioridad, transporte público estructurador, integración modal, movilidad inteligente. Movilidad responsable, movilidad enfocad en resultados.[13]. La ciudad compacta, poli céntrica y descentralizada abordará acciones focalizadas en el peatón, en la articulación de modos de transporte y en la oferta de estacionamiento, desde el plan de movilidad se identifican 7 actuaciones que permitirán transitar al modelo de ciudad compacta. En la figura se detallan las acciones focalizadas.

4.7 Estrategia movilidad de Medellín

Inversión de la pirámide de la movilidad**.** El paradigma de movilidad en la ciudad ha invertido la pirámide[14], priorizando los peatones y transportes no motorizados y dejando en último lugar al vehículo y al transporte de carga; el sistema peatonal se encuentra distribuido en toda la ciudad pero con una alta concentración en la zona céntrica de la ciudad, articula con las áreas verdes y con la red patrimonial de la ciudad.

12 Alcaldía de Bogotá. (2017). Plan maestro de movilidad. Recuperado de http: //www. movilidadbogota. gov.co /web / plan-maestro-movilidad

13 Secretaria distrital de planeación de Bogotá (2017) Plan de movilidad Bogotá: marco de referencia https: //drive. google.com/file/d/0ByNoeWkPXuHpMjgyNWR5SUxMRWM/view

14 Alcaldía de Medellín. (2017). Plan maestro de movilidad. Recuperado de http://www.metropol.gov.co/Movilidad/Documents/Plan%20Maestro%20de%20Movilidad.pdf

El sistema de espacio públicos actualmente presenta una concentración en la zona centro y en la zona oriental de la ciudad, el proyecto pretende articular espacios públicos en todas las zonas de la ciudad, haciendo recuperación de espacios en zonas con alta degradación como el centro y la implementación de espacios en las zonas de periferia.

El sistema de centralidades se consolida en la ciudad, clasificando estas centralidades en barriales, ciudad, corregimiento y metropolitana

4.8 Estrategia movilidad Cali

El plan de movilidad de Cali se denomina Plan integral de movilidad urbana PIMU, tiene proyectada una visión de ciudad hasta el 2028, en este plan se proyectan 5 subsistemas , los cuales son desarrollados por medio de propuestas proyectadas en la ciudad. Los subsistemas gestionados en el POT son : accesibilidad universal, movilidad en bicicleta, movilidad en transporte público, movilidad en transporte privado[15], regulación y control. Los objetivos específicos del plan se orientan a accesibilidad universal, incremento de participación de transporte público, incremento de uso de bicicleta, reducción de víctimas fatales, reducción de emisión de $CO2$ por fuentes móviles.

La visión futura 2028 está proyectada con un sistema multimodal que integrará la red ampliada del Transporte masivo de occidente, la red de transporte no motorizado, el tren de área metropolitana, el tren intermunicipal, el sistema de transporte fluvial del Cauca, la red de terminales multimodales, la red de trasporte individual tipo taxi.

4.9 Estrategia de movilidad de Barranquilla

Actualmente el plan de movilidad de barranquilla se encuentra en construcción, para lograr este propósito el proceso está estructurado en 4 fases[16], el proceso en la actualidad se encuentra en la fase 0, de acuerdo a documentos de trabajo revisados, cuando se culmine esta fase se dará inicio a la fase 1, en la cual se obtendrá la primera versión de estrategias del plan, que debe incluir el sistema de información de movilidad, consolidar el equipo técnico capacitado para construir el plan, definir estrategias de coordinación del plan, evaluación de la estrategia ambiental y propuesta de la política de movilidad.

Un eje estructural de la estrategia será el sistema BRT Transmetro, otra estrategia es el plan Biciquilla, el cual consiste en establecer ciclo paseos institucionales promoviendo , estrategia plan peatón A pesar de que el plan de movilidad de barranquilla se encuentra en construcción, la ciudad ha trazado estrategia de movilidad desde el programa de ciudades sostenibles y competitivas[17] – CSC de FINDETER – BID.

15 Alcaldía de Cali.(2017). Plan Integrado de Movilidad Urbana. Recuperado de http://www.cali.gov.co/planeacion/publicaciones/32150/plan_integral_de_movilidad_urbana/
16 Alcaldía de Barranquilla. (2018). Plan Maestro de movilidad. Recuperado de http://www.barranquilla.gov.co/planmaestromovilidad/index.php/que-es-el-pmm#.Wwif5UgvyM8
17 Alcaldía de Barranquilla. (2017). Plan de acción Findeter Ciudades sostenibles competitivas. Recuperado de https://webimages.iadb.org/PDF/Barranquilla+Action+Plan.pdf

4.10 Valoración de POT de ciudad de acuerdo a los lineamientos de POT modernos Colombianos

Para analizar la alineación de los planes de ordenamiento territorial con la política de POT modernos emitida por el Departamento Nacional de Planeación de Colombia, en ella se establece que un POT moderno debe desarrollar los siguientes componentes: Visión de ciudad, Competitividad, Sistemas de información, Institucionalidad

Se realizó una valoración con el grupo de trabajo y con un focus group, en el que cada componente fue valorado de 1 a 5 , siendo 5 el máximo nivel de desarrollo del componente dentro del plan de ordenamiento territorial evaluado. Fueron valorados las ciudades de Bogotá, Medellín, Cartagena, Cali, Barranquilla, Santa Marta. Los resultados se resumen en la siguiente tabla.

Matriz de valoración de POT Moderno						
Componente	Bogotá	Medellin	Cartagena	Cali	B/quilla	Santa Marta
Visión	**4.50**	**4.50**	**3.50**	**4.00**	**4.00**	**3.50**
De largo plazo con enfoque diferencial	5	5	4	4	4	4
Articulación a escala regional, metropolitana y nacional	4	4	3	4	4	3
Competitividad	**4.00**	**4.00**	**3.00**	**4.00**	**4.33**	**3.00**
Mezcla eficiente de usos de suelo	4	4	3	4	5	3
Politicas claras de vivienda social	4	4	3	4	4	3
Fomento al desarrollo economico a traves del modelo territorial	4	4	3	4	4	3
Información	**4.00**	**4.00**	**3.50**	**4.00**	**3.50**	**3.00**
Sistemas de información geografica que permitan toamr decisiones	5	5	4	4	4	3
Despliegue de infraestructura de telecomunicaciones	3	3	3	4	3	3
Institucionalidad	**4.00**	**4.00**	**3.00**	**3.50**	**4.00**	**3.50**
Analisis cualitativo y gestión participativa de visiónes territoriales	4	4	3	4	4	3
Fortalece institucionalmente a los municipios	4	4	3	3	4	4
Valoración general POT Moderno	**4.13**	**4.13**	**3.25**	**3.88**	**3.96**	**3.25**

Tabla 2. Matriz de valoración de POT Modernos.

Se observa como los POT de Medellín y Bogotá presentaron un mayor grado de alineación con los lineamientos de POT modernos, los POT de Santa Marta y Cartagena presentan la valoración más baja como POT modernos. Los componentes críticos están relacionados con competitividad de la ciudad , relacionadas con mezcla se uso de suelo eficiente y con sistemas de información de la ciudad que permitan tomar decisiones, son dos elementos que las ciudades están desarrollando a partir de sus agendas de competitividad y en los proyectos de implementación de TICs urbanas.

4.11 Valoración de coherencia de planes de movilidad con los planes de ordenamiento territorial

Luego de analizar cada uno de los planes de ordenamiento y cada plan de movilidad o instrumento de planificación de la movilidad, se diseño un instrumento para valorar la coherencia entre las políticas de ordenamiento territorial y las políticas de movilidad plasmadas en los POT y en planes de movilidad.

Se diseñó un instrumento de valoración a la luz del la ley 1083, mediante la cual se regulan aspectos de planificación urbana sostenible y se definen aspectos que deben incluirse en el plan de movilidad, acorde al plan de ordenamiento territorial. Los aspectos valorados en el instrumento fueron: Identificación de componentes POT en Plan de movilidad, articulación de aspectos de infraestructura de POT y Plan de movilidad, Reorganización de rutas de transporte público, creación de zonas sin tráfico vehicular, creación de zonas con contaminación baja, incorporación de plan maestro de parqueaderos.

Este instrumento fue aplicado en un grupo focal, integrado por planificadores, ingenieros de transporte, estudiantes del curso de ingeniería de transito, los resultados de esta valoración se resumen en la tabla.

Matriz de valoración de aspectos de planes de movilidad

Aspectos de valorados de Plan de movilidad	Bogotá	Medellin	Cali	Barranquilla	Cartagena	Santa Marta
Identifica los componentes del pot relacionados con movilidad	**4.25**	**5**	**5**	**4**	**3.25**	**3**
sistema de transporte	4	5	5	4	4	3
estructura vial	5	5	5	4	3	3
red de ciclorutas	4	5	5	4	3	3
red peatonal	4	5	5	4	3	3
El plan de movilidad articula con POT en aspectos de infraestructura	**4**	**4.5**	**4.25**	**4**	**3.25**	**3.25**
en red peatonal	4	5	5	4	3	3
en red de ciclorutas	4	5	4	4	3	3
en articulación con zonas productivas	4	4	4	4	4	4
en equipamento de ciudad	4	4	4	4	3	3
Reorganiza rutas urbanas de transporte público	**3.5**	**4**	**3.5**	**3.5**	**3.5**	**2.5**
rutas de bus convencional	3	3	3	3	3	2
rutas de sistema masivo	4	5	4	4	4	3
Crea zonas sin trafico vehicular	**4**	**4**	**3.5**	**3**	**3**	**3**
accesibilidad a pie	4	4	4	3	3	3
accesibilidad no motorizada	4	4	3	3	3	3
Crea zonas de emisiones contaminantes bajas	**3**	**4**	**3**	**3**	**3**	**2**
zonas de emisión baja permanente	3	4	3	3	3	2
zona de emisión baja temporal	3	4	3	3	3	2
Incorpora el plan maestro de parqueaderos	**3.5**	**3.5**	**3**	**3**	**3.5**	**2**
define zonas publicas permanentes de parqueo	4	4	3	3	3	2
define zonas publicas de parqueo temporal	3	3	3	3	4	2
Valoración del plan de movilidad	**3.71**	**4.17**	**3.71**	**3.42**	**3.25**	**2.63**

Tabla 3. Resultados de valoración de coherencia de aspectos del plan de movilidad acorde a Plan de ordenamiento territorial

Se observa como los planes de movilidad de Bogotá, Medellín presentaron la valoración de coherencia global más alta al promediar los 6 aspectos valorados, asi como Cartagena y Santa Marta presentaron la calificación más baja. Los resultados obtenidos muestran como ciudades como Medellín, muestran un nivel de coherencia del 83%, Bogotá 74%, Calí 74%, Barranquilla 68%, Cartagena 65%, Santa Marta 52%, los valores obtenidos por ciudades como Santa Marta y Cartagena evidencian el gran trabajo que se debe hacer en la planificación de movilidad, así como Barranquilla tiene un reto significativo en materia de reorganización de rutas, no obstante Bogotá tiene el reto más grande que es tomar la decisión estratégica más importante con respecto a transporte masivo.

Figura 1. Valoración de planes de movilidad (Ley de movilidad sostenible)

Los aspectos de coherencia mejor valorados fueron los relacionados con la movilidad descrita en POT: específicamente en sistemas de transporte, estructura vial, red de ciclo rutas y red peatonal, aunque en estos dos últimos subsistemas, solamente Bogotá, Cali, Medellín, presentan una proyección clara en el plan de movilidad; entre tanto Cartagena y Santa Marta presentan una proyección muy débil de la movilidad no motorizada.

En la figura radial se observa el desbalance de 4 componentes en los instrumentos de planificación de movilidad de Cartagena y Santa Marta. En Barranquilla a pesar de no contar con el plan de movilidad totalmente formulado, se han trazado políticas de movilidad en el marco de plan de acción de ciudades, sostenibles y competitivas.

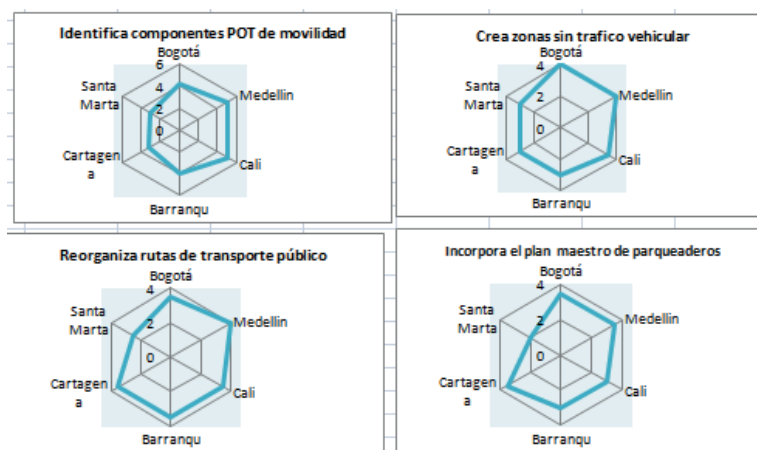



Figura 2. Valoración comparativa de coherencia de POT con planes de movilidad de ciudades.

Finalmente, la valoración arroja un puntaje global que mide la coherencia entre plan de movilidad o instrumento de planificación de movilidad y el plan de ordenamiento de la ciudad, El plan de movilidad que presenta más alta coherencia con su POT fue el de la ciudad de Medellín. Ver figura

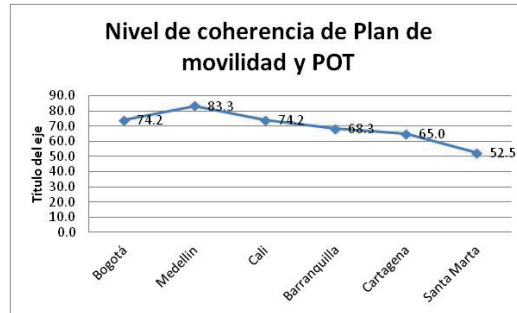



Figura 3 . Nivel de coherencia de Plan de movilidad con POT

5 I CONCLUSIONES

Si existiese una aplicación coherente de la lógica territorial, así como si se tuviese implementada una logística urbana basada en la lógica territorial y orientada al desarrollo de la comunidad y todas sus actividades, tendríamos unos sistemas de movilidad que coherentemente estarían proyectados para funcionar en forma tal que su capacidad transportadora estaría en función de la sincronía existente entre las variables de ordenamiento, las variables de logística urbana y la dinámica poblacional.

Los planes de ordenamiento territorial actuales tienen deficiencias técnicas, están desactualizados y carecen de posicionamiento como instrumento de desarrollo. Esto ha llevado al gobierno a tomar estrategias que posibiliten la ejecución de los planes de ordenamiento territorial, entre ellas la implementación del Atlas de complejidad económica en asocio con Bancoldex y el Center for internacional development de Harvard University.

Si se analiza solamente el problema de congestión y se aplican correctivos netamente relacionados con reducción de congestión, es como si se aplicará un paliativo a una situación de gravedad, los resultados no van a ser otros diferentes a aliviar la problemática momentáneamente. El problema no es solamente de transporte de personas, este es el que más se resalta, pero realmente hay que sumarle el flujo de cargas y mercancías, el cual no se visualiza tan explícitamente o no se le analiza la contribución exponencial que está aportándole a la congestión vehicular.

Un componente de Planes de movilidad que debe fortalecerse en todas las ciudades es el relacionado con el plan maestro de parqueaderos, fue el componente más débil en las ciudades valoradas, nuevamente las principales deficiencias se presentan en Cartagena y Santa Marta .

Otro componente que tiene un bajo desarrollo, es el definir las zonas de baja contaminación, en especial en ciudades costeras en donde el efecto sensitivo de contaminación es menor, pero la contaminación del aire viene en incremento.

Independientemente al proceso de aprobación de POT que se ha dilatado por razones legales, en las instancias municipales, los planes de movilidad deben acelerar su

curso de estructuración y aprobación, ya que son prioritarios para cada una de las ciudades.

Los resultados obtenidos muestran como ciudades como Medellín, muestran un nivel de coherencia del 83%, Bogotá 74%, Cali 74%, Barranquilla 68%, Cartagena 65%, Santa Marta 52%,

La ciudad que presentó un más alto nivel de coherencia de los lineamientos POT y plan de movilidad fue Medellín, para ciudades como Bogotá, las decisiones de transporte masivo impactaran POT y plan de movilidad.

Las tres ciudades costeras Barranquilla, Cartagena, Santa Marta son las que presentan los retos más grandes en materia de transporte masivo, movilidad no motorizada y gestión ambiental de la movilidad.

REFERENCIAS

1. Capel H.(2016).Las ciencias sociales y el estudio de territorio. Revista bibliográfica de Geografía, Vol XXI. Recuperado de http://www.ub.edu/geocrit/b3w-1149.pdf

2. Mendoza M. (2005).Ordenamiento territorial y conservación de la diversidad. Revista zonas áridas, ,volumen (9).149-154. Recuperado de Downloads/574-2288-1-PB.pdf

3. Pineda S.(2017).El reto logístico de la última milla. Revista empresarial.com. Recuperado de https://revistaempresarial.com/pymes/el-reto-logistico-de-la-ultima-milla/

4. Villamil M. Ordenamiento territorial a través del tiempo. Perspectiva geográfica. Volumen (15). 143-156. Recuperado de Dialnet-ElOrdenamientoTerritorialEnColombiaATravesDelTiemp-3736896.pdf

5. Prieto J. , Luengas E (2016).Ley orgánica ordenamiento territorial como instrumento de Ordenamiento territorial y ambiental. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá.

6. Ministerio de Transporte Colombia (2018). Normatividad. Recuperado de https://www.mintransporte.gov.co/Documentos/Normatividad

7. Departamento Nacional de planeación. Colombia.(2016) Avance en planes de ordenamiento. Recuperado dehttps://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Presentaciones/20170217%20CARTAGENA%20POT%20MODERNOS.pdf

8 Departamento nacional de Planeación Colombia (2017). POT modernos. Recuperado de https://www.dnp.gov.co/Paginas/A-partir-de-hoy,-100-municipios-y-25-departamentos-le-apuestan-a-ser-territorios-modernos-DNP.aspx

9 Transmilenio S.A. (2017)Estadísticas de oferta y demanda. Recuperado de http: //www .transmilenio.gov.co /Publicaciones/estadísticas _de_oferta_y_ demanda_del_ sistema_integrado _de_transporte_ public o_sitp_noviembre_2017

10. Alcaldía de Medellín. (2017). Nuevo POT Medellín, Una ciudad para la gente , una ciudad para la vida. Recuperado de http://acimedellin.org/wp-content/uploads/2017/06/RevistaPOT2014.pdf POT Medellín

11. Alcaldía de Cali.(2017).POT de Cali. Recuperado de http:// www.cali. gov.co/planeación / publicaciones/ 106497/pot_2014_idesc/

12 Alcaldía de Bogotá. (2017). Plan maestro de movilidad. Recuperado de http: //www. movilidadbogota. gov.co /web /plan-maestro-movilidad

13 Secretaria distrital de planeación de Bogotá (2017) Plan de movilidad Bogotá: marco de referencia https: //drive.google.com/file/d/0ByNoeWkPXuHpMjgyNWR5SUxMRWM/view

14 Alcaldía de Medellín. (2017). Plan maestro de movilidad. Recuperado de http://www.metropol.gov.co/Movilidad/Documents/Plan%20Maestro%20de%20Movilidad.pdf

15 Alcaldía de Cali.(2017). Plan Integrado de Movilidad Urbana. Recuperado de http://www.cali.gov.co/planeacion/publicaciones/32150/plan_integral_de_movilidad_urbana/

16 Alcaldía de Barranquilla. (2018). Plan Maestro de movilidad. Recuperado de http://www.barranquilla.gov.co/planmaestromovilidad/index.php/que-es-el-pmm#.Wwif5UgvyM8

17 Alcaldía de Barranquilla.(2017). Plan de acción Findeter Ciudades sostenibles competitivas. Recuperado de https://webimages.iadb.org/PDF/Barranquilla+Action+Plan.pdf

CAPÍTULO 2

ANÁLISIS DE IMPACTO DE LA AMPLIACIÓN DEL CANAL DE PANAMÁ EN EL TRÁFICO MARÍTIMO REGIONAL Y PERSPECTIVAS FUTURAS DE LA LOGÍSTICA MARÍTIMA REGIONAL

Data de aceite: 02/06/2023

Fredy Armando Cuervo Lara
Jefe de planeación, Universidad Cooperativa de Colombia, Colombia

RESUMEN: Este estudio se realizó a partir de la necesidad de considerar cual ha sido el impacto de la ampliación del canal de Panamá a partir de su entrada en operación en julio de 2016. Para el comercio mundial y regional la ampliación del canal de panamá juega un papel preponderante en la logística de servicios marítimos y de conectividad comercial entre continentes, de allí se desprende la importancia que tiene este estudio que pretendió analizar el impacto comercial de esta gran obra. Se realizó un análisis de las implicaciones del proyecto a nivel de administración de cadena de abastecimiento de insumos y factores preponderantes en la formulación, diseño, ejecución y puesta en marcha del proyecto; fueron analizadas las variables críticas que determinaron el diseño definitivo del proyecto , así como la logística necesaria para cumplir con cada uno de los requerimientos del proyecto. De esta forma se identificó que la magnitud del proyecto demando el desarrollo de un sistema logístico de abastecimiento que entre cifras tuvo que administrar la fundición de 3 millones de m3 de concreto, 220.000 ton de hierro, 16 compuertas rodantes de 4200 ton cada. La magnitud de estas cifras evidenció la necesidad de implementar el sistema logístico de abastecimiento del proyecto. Se realizó un análisis del comportamiento del tráfico en los 5 años anteriores a la entrada de la ampliación del canal, con una tipificación por tipo de tráfico, tipo de buque, tipología de carga y posteriormente se realizó la valoración comparativa del trafico atraído en las diferentes líneas de negocio marítimo: contenedores, gráneles líquidos, gráneles sólidos, gas natural licuado, entre otros. Encontrando entre los principales resultados, como el efecto de ampliación abre un abanico de oportunidades en tráficos de buques post panamax de contenedores, gaseros que superan los 5 tránsitos semanales, estos nuevos tráficos representaron 1000 buques adicionales de tamaño neo panamax y postpanamax, batiendo el record de movilización de carga diaria en el mes de febrero de 2017 con un tonelaje de 1.18 millones de toneladas.

1 I INTRODUCCIÓN

La ampliación del canal de Panamá, fue un proyecto de impacto regional en la logística de transporte marítimo, que estuvo en la agenda del gobierno panameño desde 2002 hasta el 2016, fue un proyecto determinante en el comercio de la región, posibilitando el crecimiento de movimiento de carga, lo cual significa posibilidades de crecimiento para el sector portuario y marítimo en el área de influencia del canal.

El proyecto implicó una fase de planeación y de diseño que requirió de múltiples estudios geológicos, de geotecnia, de mecánica de fluidos, diseños de estructuras y canales, diseño de esclusas y canales subterráneos, entre otros. Dentro de la fase de planeación la adquisición y gestión de insumos jugó un papel preponderante, dada la magnitud de la obra , por lo que el sistema de abastecimiento montado para el proyecto , tuvo que considerar variables de reserva y demanda de insumos asociados con las obras civiles del proyecto.

Por otra parte , una vez entran en funcionamiento la ampliación de esclusas , inicia una dinámica de crecimiento y proyección de nuevos mercados de carga que requieren el cruce por el canal, la nueva proyección del canal le permitirá posicionarse como un punto cada vez más estratégico en el comercio de la región. Este estudio muestra como el funcionamiento del proyecto ha generado nuevo dinamismo en el comercio marítimo.

2 I ESTADO DE ARTE

2.1 Dimensiones del proyecto de ampliación del canal de Panamá

La ampliación de canal de panamá por su importancia regional es un proyecto cuya magnitud, ejecución y seguimiento estuvo en la agenda de los gobiernos de la región, tanto en la fase de planeación, como en la fase de ejecución. Fue un proyecto que determinaba la competitividad logística global dada la dependencia del tráfico marítimo con el cruce del canal en las principales rutas. Para su ejecución fueron necesarios más de 100 estudios previos. El proyecto presenta las siguientes características hitos de requerimientos de insumos para su construcción[1]: 4.4 millones de metros cúbicos de concreto, acero de refuerzo 220 mil toneladas, agregado pétreo 5 millones de toneladas, 16 millones de m3 cúbicos dragados, 810 mil m3 excavados

El canal ampliado ha generado un incremento en el tráfico, tanto en toneladas como en nuevos tipos de buques con mayor capacidad:

Durante el primer año de funcionamiento de la ampliación se logró la operación de 1000 buques adicionales neopanamax, en promedio diario transitaron 5.9 buques neopanamax , el record en tonelaje mensual movilizado fue de 36.1 millones de toneladas

1 Autoridad del canal de panamá.(2017). Componentes de la obra. Recuperado de micanaldepanama.com/ampliacion/documentos/componentes/

de carga, el record de movimiento diario de carga fue 1,18 millones de toneladas.[2]

En cuanto nuevos servicios de línea se han generado 10 nuevos servicios delinea con la ampliación del canal, entre los tráficos atraídos esta el de buques de Gas natural licuado, el Promedio semanal de es de 5.2 tránsitos de buques de LNG, la proyección es de un buque LNG semanal.

Las principales rutas de canal de panamá se distribuyen el trafico[3] de la siguiente forma: Asia Costa Este de los Estados Unidos51%, Costa Oeste Suramérica- Costa oeste de Estados Unidos 18%, Costa oeste de Suramérica-Europa10%, Costa oeste de Centroamérica-Costa este de Estados unidos 8% , Europa- costa oeste de estados unidos-Canadá 7%, Otras rutas 12%.

Se observa como la ruta Asia – Costa este de los estados unidos es la ruta con mayor frecuencia en el canal de panamá, es un ruta fundamental para la zona portuaria este de E.U , que incluye puertos como Savannah, Wilmington, Norfolk, Port Elizabeth, Nueva york y los puertos Asiáticos de norte y del sur.

2.2 Características de ampliación de la zona de esclusas

Características de ampliación de la zona de esclusas tiene las siguientes características:

En boca del Atlántico se realizará ampliación de un nuevo juego de esclusas en la zona de esclusas Gatún, las cuales tendrán una mayor capacidad y dimensiones más grandes localizadas como se observa en el mapa.

Figura 1. Zona de esclusas de Gatún y tercer juego de esclusas

2 Autoridad del canal de panamá. (2010). Programa de ampliación. Recuperado de https://micanaldepanama.com/ampliacion/wp-content/uploads/2014/02/Programa2010-01.pdf
3 Georgia tech Panamá.(2017). Estadisticas de canal de panamá. Recuperado de http://logistics.gatech.pa/es/assets/panama-canal/statistics

El tercer juego de esclusas tiene varios componentes de ampliación identificados con números en la figura , los cuales son:

Componente de ampliación	Implicación (inicio septiembre de 2007)
1	Profundización de las entradas en pacifico y Atlántico
2	Ensanche y profundización de los cauces de navegación del lago Gatún y profundización de corte culebra
3	Construcción de las nuevas esclusas y tinas de reutilización de agua en el Atlántico y en el pacifico.
4	Subir el máximo nivel de operación del lago Gatún
5	Excavación en cuatro fases del cauce de acceso del pacifico

Tabla 1. Componente de ampliación del canal de panamá[4]

Las nuevas esclusas son 70 pies más anchas y 18 pies más profundas que las actuales, pero utilizan menos agua gracias a las tinas de reutilización de agua que reciclan el 60% del agua utilizada en cada esclusaje. En la zona del pacifico en proximidad a las esclusas de Miraflores se construirán las nuevas esclusas, las cuales tendrán un juego de tres niveles con tinas de recuperación de agua.

Otro aspecto fundamental en la ampliación es la modernización del tipo de esclusas, las cuales van a ser corredizas y no de bisagra, lo que permitirá administrar mejor el flujo de agua en las esclusas. De igual manera el sistema de inyección y expulsión del agua se constituye con un moderno juego de tinas de recuperación, dotado con válvulas de inyección de flujo y contraflujo de aguas para la elevación de los barcos en las esclusas, este sistema se observa en la figura.

Las construcciones de los canales para las esclusas demandaron el trabajo simultaneo de más de 30 frentes de trabajo por esclusa dotados con grúas telescópicas para colocación de concreto pre forzado, siendo necesaria la coordinación de los frentes desde un comando central de operaciones que tenía la visión global del avance coordinado de la obra.

Simultáneamente a la construcción en Panamá se estaba realizando el proceso de fundición y ensamble de las 16 compuertas de exclusas, en la siderúrgica especializada de san Giorgio Di Nogaro en Italia, durante el 2014. Las esclusas fueron unas piezas únicas con unas características de sobredimensionamiento cuya construcción, ensamble, transporte, localización y puesta en funcionamiento representó un proyecto alterno. Fuero n transportadas vía marítima y localizadas en la boca del canal para su ubicación individual.

El peso unitario de cada compuerta es de 4242[5] toneladas, lo cual implicó un manejo especializado y un proceso riguroso de ubicación en cada sitio estipulado, que no admitía

4 Autoridad del canal de panamá (2014). Componentes de ampliación. Recuperado de https://micanaldepanama.com/ampliacion/wp-content/uploads/2014/12/ProgramaDiciembre2014.pdf

5 Autoridad de Canal de Panamá. (2015). Programa de ampliación Informe Junio 2015. Recuperado de https://micanal-depanama.com/ampliacion/wp-content/uploads/2015/08/ProgramaJunio2015.pdf

errores, dada la magnitud de cada pieza a ubicar. El proceso se realizó movilizando cada compuerta por vía terrestre a través de terraplenes con pendientes que permitían el avance horizontal de plataformas con gatos hidráulicos.

El 26 de junio de 2016 fueron inaugurados los nuevos juegos de esclusas, para dar paso a una nueva era de administración del istmo , con un costo final de 5450 millones de dólares[6] (incluyendo las demoras y sobrecostos incurridos), pero finalmente entregado operando

3 I METODOLOGÍA

La metodología de este estudió, incluyo un análisis de dimensionamiento del proyecto de ampliación del canal de panamá, haciendo un análisis basado en el modelo SCOR (Supply chain operation reference), bajo el cual se analizan elementos de planificación y ejecución de abastecimiento de insumos del proyecto.

Posteriormente se realizó un análisis de los efectos de la ampliación del canal considerando fuentes de información de autoridad del canal de Panamás, evaluando variables como el tráfico mundial y tendencias, tráfico por tipo de esclusas y segmento de mercado. También se analizó el impacto del canal ampliado en la expansión portuaria con nuevos proyectos en la región, se analizó también la situación actual de alianzas comerciales de navieras para competir por el mercado de carga.

Se realizó un análisis de la influencia del canal y su ampliación en proyectos de infraestructura portuaria e infraestructura logística en países como Panamá, Colombia, Costa Rica, analizando impacto por tipo de tráfico e impacto en capacidad instalada

Se realizó un análisis del comportamiento del tráfico en los 5 años anteriores a la entrada de la ampliación del canal, con una tipificación por tipo de tráfico, tipo de buque, tipología de carga y posteriormente se realizó la valoración comparativa del trafico atraído en las diferentes líneas de negocio marítimo: contenedores, gráneles líquidos, gráneles sólidos, gas natural licuado, entre otros.

4 I RESULTADOS

4.1 Efecto comercial de la ampliación del canal de Panamá

Al observar el panorama de rutas de transporte marítimo mundial, geográficamente se encuentran varios puntos cuya operación es estratégica para el comercio mundial, entre esos está el estrecho de Malaca, el estrecho de Gibraltar, el estrecho de la mancha, el estrecho de mar Adriático y el canal de panamá, todos estos puntos representan atajos comerciales para el comercio mundial, cada uno de ellos compite por posicionarse como

6 EFE.(26 de junio de 2016). Panamá inauguró el canal ampliado. La nación. Recuperado https://www.lanacion.com.ar/1912822-panama-inauguro-la-ampliacion-del-canal-costo-5450-millones-de-dolares

el más estratégico y lograr así encausar flujos de comercio y ganar importancia comercial, económica y estratégica. Ver figura.

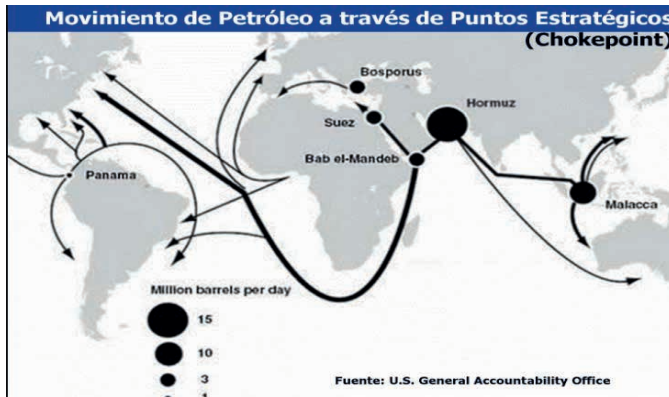



Figura 2. Puntos estratégicos del comercio mundial[7]

Fuente: inteligencia petrolera.org

En la figura se observa que en occidente el punto más importante es el canal de Panamá , con una ubicación casi equidistante entre el norte y sur de América y entre oriente y occidente, de ahí su importancia estratégica para las líneas marítimas y operadores logísticos globales.

De igual forma las rutas de transporte marítimo presentan unos flujos casi que predeterminados por los orígenes , destinos y facilidades de distribución de la carga, las rutas de primer nivel (mayores a 500 millones de ton año) se encuentran en la ruta del petróleo, entre el norte de Europa, sur de África , medio oriente y sudeste asiático, nótese que estas rutas no hacen uso de puertos de sur y centro América, , en la medida que estos buques de gran tamaño tiene restricciones operativas en algunos terminales y en el canal de panamá (antes de ampliación). Las rutas de segundo nivel (300 a 500 millones de toneladas) y las de tercer nivel (menores de 300 millones de ton, si hacen uso del canal de panamá y hacen parte del mercado actual que el canal atiende.

4.2 La carga Mundial

El transporte marítimo ha movido un total de 10.745[8] millones de toneladas de mercancías en 2017, lo que supone un incremento del 2% con respecto a las manipuladas en 2015, según datos de la consultora Clarkson analizados por Anave.

El mayor crecimiento de la demanda de transporte se ha concentrado en los ***tráficos de crudo y productos del petróleo***, que ***han crecido un 4,8%***, sumando 2.926 millones de toneladas.

7 Inteligencia petrolera.(2017). Movimiento de petróleo mundial. Recuperado de http://inteligenciapetrolera.com.co/inicio/movimiento-de-petroleo-a-traves-de-puntos-estrategicos-chokepoint/

8Cadenas de suministro. (2016) Informe de otro año difícil para el transporte maritimo. Recuperado de http://www.cadenadesuministro.es/noticias/el-transporte-maritimo-de-graneles-solidos-experimentara-otro-ano-dificil-en-2016/

El tráfico de contenedores ha aumentado un 3,1%, hasta 1.691 millones de toneladas, ***y el de gases licuados un 2,2%,*** sumando 327 millones de toneladas. Por el contrario, el tráfico de ***graneles sólidos***, que había experimentado fuertes crecimientos en ejercicios anteriores, ***ha descendido un 0,3%***, totalizando 4.681 millones de toneladas.

4.3 El mercado emergente de tráfico de petroleros en el canal

Uno de los mercados que el canal de panamá visualiza en crecimiento moderado de prestación de servicios es el mercado petrolero, el cual viene presentando un desbalance entre la oferta de buques y el volumen de crudo y derivados a transportar, este desbalance se viene presentando desde el 2006 año a partir del cual el encargo de buques petroleros se incrementó considerablemente y llego a un punto critico en el año 2015, en donde la sobreoferta de transporte y los preciso de los fletes llevaron al sector a paralizar un grupo representativo de la flota, debido a la sobreoferta de transporte , los bajos fletes y la baja rentabilidad de movilizar crudo y derivados en esas condiciones[9].

Las condiciones de ampliación abren una nueva posibilidad de mercado al canal de Panamá , dado que se empieza a dar una dinámica de tráfico de buques petroleros tipo ULC en el canal y esto genera competitividad a las rutas de crudo y derivados.

El mercado granelero de buques está presentando un desbalance entre el crecimiento de oferta de transporte y la demanda de transporte, con una diferencia de más de 1.000.000 ton de capacidad en buque incrementadas en los últimos 5 años y un crecimiento de carga inferior al 2% anual, esta coyuntura puede tener una oportunidad para rutas que bajen los fletes reduciendo distancia y costos operativos de flota, es lo que puede ofrecer el canal de panamá. Este mercado empieza a crecer paulatinamente en el canal y la proyección futura es seguir atrayendo las rutas de sur de América, Norte de Europa, Canadá y Estados Unidos.

Por otra parte la fusión de navieras, las alianzas colaborativas entre navieras están generando un escenario de competencia fuerte en mercados como el asiático europeo en donde tres alianzas compiten por el mercado de carga: THE Alliance (Hapag Lloyd, Mitsui OSK, Kline, NYK, Yang ming line) con participación de 30%, Ocean alliance(CMA;Cosco,Evergreen,OOCL) con el 33% de participación y Alianza 2M (Maesrsk, MSC) con 34% de participación. En el mercado de Asia y Norteamerica: el 17% es para alianza 2M , 35% para ocean alianza y 39% para THE alianza.[10]

4.4 Trafico por segmento de mercado en el canal de Panamá

En cuanto al tráfico que el canal ha tenido desde su ampliación, se observa el tráfico de buques en esclusa neo panamax en portacontenedores, graneleros, Ro-Ro, GLP y GNL,

9 Asociación de navieros españoles ANAVE.(2017). 2017 otro año crítico. Recuperado de https://www.anave.es/images/editorial/2016/editorial_bia1216.pdf

10 Cámara de Comercio de Santa Marta.(2018). Boletín digital de Comercio Exterior. Recuperado de https://shoutout.wix.com/so/6L-5DiLu?cid=0®ion=a46d9926-94d0-4163-50f4-c80eb20e84df#/main

presentó un aumento con la ampliación de esclusas, de estos mercados el de Gas natural licuado GNL y el de Gas líquido petrolizado GLP, se incrementó 10 veces con respecto a 2016, ha sido una de las apuestas claras de expansión del mercado del canal.

La cifras de carga contenedorizada en 1017 por exclusa panamax representa el 55% de la carga movilizada por esclusa Neo panamax, en 2017, esto agregado a que la gestión de servicios del canal en esclusas neopanamax ha reducido los tiempos de espera de embarcaciones para el cruce del canal,

De igual forma el tonelaje de GLP por las exclusas para buques panamax, en 2016 fue de 3 millones, para 2017 se incremento a 11 millones por las esclusas Neopanamax, el incrementó fue de 120% con respecto a 2016.

En cuanto al tonelaje de petroleros el comportamiento de la carga , sigue concentrado en el uso de esclusas panamax, en 2017 llego a ser de 14.1 millones de toneladas , mientras que en esclusas neo-panamax en 2017 se movilizaron 628 mil toneladas de petróleo.

Tráfico del Canal de Panamá por Tipo de Esclusa y Segmento de Mercado[1]
Años Fiscales 2017-2016

Segmento de Mercado	Tránsitos				Carga				CP/SUAB[2]			
	Panamax		Neopanamax		Panamax		Neopanamax		Panamax		Neopanamax	
	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016
Portacontenedores	1,539	2,833	954	144	19,196,769	34,426,794	34,459,114	5,224,379	53,473,710	106,612,818	89,139,804	13,187,408
Graneleros	2,790	2,633	125	1	88,565,552	89,451,106	7,675,437	73,815	70,353,604	65,714,490	8,781,606	85,293
Portavehículos/RoRo	779	799	22	10	4,604,043	4,748,991	187,343	75,286	45,229,645	46,055,170	1,576,582	703,529
Quimiqueros	1,955	1,899	4	-	39,301,754	38,318,565	162,343	-	42,374,190	39,618,769	98,748	-
Gas Licuado de Petróleo	337	398	539	51	3,582,151	5,053,593	11,737,064	1,180,457	7,374,749	9,560,778	21,123,436	1,981,356
Petroleros	607	578	20	3	14,151,752	14,914,318	628,542	151,929	16,269,404	15,378,212	1,072,729	196,764
Gas Natural Licuado	4	2	159	15	-	-	6,359,634	549,806	76,360	38,180	17,015,521	1,468,488
Pasajeros	239	213	1	-	-	-	-	-	9,740,883	8,184,574	71,280	-
Refrigerados	868	948	-	-	3,274,474	3,340,147	-	-	8,450,045	9,040,294	-	-
Carga General	654	710	-	-	5,038,298	4,845,678	-	-	7,808,221	8,419,346	-	-
Otros	392	447	4	-	2,074,209	2,349,421	8,849	-	2,721,273	3,199,449	18,345	-
Gran Total	**10,164**	**11,460**	**1,828**	**224**	**179,789,002**	**197,448,614**	**61,218,325**	**7,255,672**	**263,872,084**	**311,822,080**	**138,898,051**	**17,622,838**

Tabla . Tráfico de canal de Panamá por tipo de esclusa y segmento de mercado.

Mes a mes el canal viene presentado un incremento de carga y de número de buques atendidos, que evidencia el impacto del canal en la logística de la región, considerando que el pico de atención de buques se presentó en el mes de marzo de 2017 con 1296 buques atendidos y 35 millones de toneladas[11] de arqueo atendidas.

Según Sr. Jorge Quijano, CEO de la Autoridad del Canal de Panamá, a la agencia de noticias Reuters, la proyección estimada de crecimiento en el transito de buques cargueros de Gas Natural Licuado (LNG ships) por sus siglas en ingles será del 50% en los próximos 3

11 Autoridad del canal.(2017). Estadísticas de trafico. Recuperado de http://micanaldepanama.com/ampliacion/2017/03/canal-ampliado-alcanza-hito-de-mil-transitos-neopanamax/

años[12]. La proyección estadística de la Autoridad del Canal de Panamá estima alcanzar los 30 millones de toneladas para finales del 2020. Muestra de este incremento, fue el hecho particular ocurrido el día 17 de abril cuando por primera vez en la historia, tres (03) buques LNG transitaron por el canal en el mismo periodo de 24 horas. En operaciones normales cada semana transitan en promedio seis (06) buques LNG, gracias al tercer set de exclusas que fueron habilitadas en el 2016.

En cuanto a la oferta y demanda de este producto primario; como se evidenció el año pasado, Estados Unidos incremento la producción (Oferta) de Gas Natural Licuado (GNL) y por ende sus exportaciones desde el puerto Sabine Pass en Lousina, operado por Cheniere Energy[13], único puerto con capacidad de exportación de GNL, hacia puertos en la costa del norte de Asía y la costa pacífica de Sur América, empleando el canal de Panamá. De igual forma, el factor de protección ambiental y la rápida transición que las economías están haciendo de combustibles de alto impacto contaminante como el carbón y el petróleo, hacia el gas natural a incrementado la demanda de este producto. Adicionalmente, es importante considerar que la oferta en el mediano plazo también sufrirá cambios, ya que Estados Unidos tiene proyectos de exploración de GNL, buscando pasar de una producción anual de 18 millones de toneladas en el 2017, hasta alcanzar 70 millones de toneladas anuales.

5 I PROYECTOS DE EXPANSIÓN PORTUARIA RELACIONADOS CON LA AMPLIACIÓN DEL CANAL DE PANAMÁ

La ampliación del canal ha traído una nueva dinámica comercial y de asignación de tráficos hacia las rutas de sur, centro y norte América, esto ha evidenciado aún más la necesidad de modernización de terminales portuarios de la región, en las áreas de influencia del canal y que prestaran servicios complementaria de transbordo y tránsito de carga a nivel regional.

Países, como Panamá, Colombia, Costa Rica, Jamaica han realizado proyectos de modernización que tienen que ver con la dinámica de tráfico atraído por el canal ampliado. Algunos de esos proyectos se relacionan a continuación:

12 Tsukimori, O. (2018, 20 de abril). *Panama Canal LNG volume soars as global demand grows*. MarineLink. Recuperado de https://www.marinelink.com/news/panama-volume-global436608

13 Moreno, E. (2018, 7 de febrero). *Panama Canal expects LNG tanker traffic to rise 50 pct -official*. Reuters. Recuperado de https://www.reuters.com/article/panamacanal-lng/panama-canal-expects-lng-tanker-traffic-to-rise-50-pct-official-idUSL2N1PV1EJ

País	Proyecto	Foco de carga	Capacidad operativa
Colombia	Puerto aguadulce PSA	Contenedorizada	650.000 teus
Colombia	CCTO APM	Contenedorizada	500.000 teus
Colombia	Tecbuen	Contenedorizada	650.000 teus
Panamá	Panamá terminal internacional PSA	Contenedorizada	2.000.000 teus
Costa Rica	Puerto Moin APM	Contendorizada	2.500.000 teus
Panamá	Puerto verde	Servicios y suministro de combustible a buques	
Panamá	Mystic rose Balboa	Suministro combustible	
Panamá	Panamá Colon Container Port	Contenedores	2.000.000 teus
Panamá	Terminal de Corozal	Contenedores	5.000.000 teus.
Jamaica	Modernización puerto de kingston	Contenedores	Ampliación a 3.200.000 teus
Colombia	Puerto Antioquia	Contenedores	600.000 teus
Colombia	Puerto Pipisi	Contenedores	450.000 teus
Colombia	Puerto Darien	Contenedores	400.000 teus

Tabla 6. Proyectos de expansión portuaria

Fuente: Elaboración propia.

Si se analiza la magnitud de movimiento de carga , en Colombia se estaría generando capacidad instalada para mover 6.5 millones de teus adicionales en instalaciones que no se tenían y que indudablemente deberán trabajar en la red global de puertos de cada concesionario.

Las fusiones en el sector portuario cambiaran el panorama, solamente en 2017 las fusiones portuarias han representado más de 3100 millones de dólares[14] , impulsados principalmente por operadores chinas , entre ellos Cosco shipping ports y China Merchants ports. Más del 50% de negocios portuarios han sido realizados por chinos, la valoración de sus negocios portuarios y terminales oscila entre 13x y 26x EV/EBITDA. Los actores chinos están más cómodos con el riesgo que los operadores globales de terminales internacionales establecidos en este momento, y tienen una estrategia geopolítica más que puramente financiera. Están ganando activos y oportunidades, además tienen el apetito y la influencia financiera para tomar muchas más en los próximos años[15]

6 I CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La envergadura del proyecto de ampliación canal de Panamá, muestra la necesidad

14 The Bolletin Panamá. (2017).Operadores portuarios chinos se extienden de modo agresivo. Recuperado de http://thebulletinpanama.com/es/2017/08/operadores-portuarios-chinos-se-expanden-de-un-modo-agresivo/
15

de emprender proyectos estratégicos regionales que permitan crecer en competitividad y posicionar Latinoamérica con infraestructura marítima a la altura del primer mundo.

Los hitos o records de insumos requeridos para la construcción , demuestra la importancia que tiene la cadena de abastecimiento del proyecto y la programación de proyectos paralelos dentro del gran proyecto, sin esa cadena de abastecimiento hubiese sido imposible lograr el cometido de inauguración de las exclusas el 26 de junio de 2016.

Desde el punto de vista comercial el canal impacta las rutas interoceánicas de norte a sur y de este a oeste, se está generando trafico adicional en función de las esclusas neopanamax, lo cual ha permitido diversificar los nichos de mercado del canal de Panamá.

Hablar hace 10 años de la posibilidad de atender buques tipo GNL,GLP en el canal de Panamá , era una utopía, que hoy en día se está convirtiendo en una alternativa de crecimiento real del canal y que pronto impactará la logística regional.

La ubicación estratégica del canal de Panamá es una alternativa para tratar de mejorar la rentabilidad de rutas y mercados que actualmente presentan un desbalance ente la sobreoferta de transporte y la carga a transportar, el canal esta ingresando a mercado de buques petroleros, a pesar de no estar en las rutas primarias de crudo que se movilizan entre norte de Europa.- Medio Oriente y Asia.

La influencia del canal de Panamá en la expansión portuaria regional ha generado movimientos estratégicos de operadores portuarios globales, que ven la vecindad del canal como una alternativa de crecimiento y de apertura de negocio portuario en la región. Se observa como en Colombia en los próximos 5 años se tendrá una capacidad instalada aumentada en 6.5 millones de teus, todos estos proyectos tienen una relación estrecha con la operación del canal.

Es recomendable que se realicen los planes de expansión portuaria regional, considerando variables como la actividad del canal, la dinámica de puertos regionales, el crecimiento de los diferentes segmentos de mercado marítimo.

Si los terminales del vecindario del canal no se adaptan e integran a la dinámica operativa que este genera, es muy probable que las posibilidades de crecimiento en movimiento de carga y tráfico se vean limitadas y se de apertura a una inversión intensiva de operadores globales portuarios.

REFERENCIAS

1.Autoridad del canal de panamá.(2017). Componentes de la obra. Recuperado de micanaldepanama.com/ampliacion/documentos/componentes/

2.Autoridad del canal de panamá. (2010). Programa de ampliación. Recuperado de https://micanaldepanama.com/ampliacion/wp-content/uploads/2014/02/Programa2010-01.pdf

3. Georgia tech Panamá.(2017). Estadísticas de canal de panamá. Recuperado de http://logistics.gatech.pa/es/assets/panama-canal/statistics

4.Autoridad del canal de panamá (2014). Componentes de ampliación. Recuperado de https://micanaldepanama.com/ampliacion/wp-content/uploads/2014/12/ProgramaDiciembre2014.pdf

5.Autoridad de Canal de Panamá. (2015). Programa de ampliación Informe Junio 2015. Recuperado de https://micanaldepanama.com/ampliacion/wp-content/uploads/2015/08/ProgramaJunio2015.pdf

6.EFE.(26 de junio de 2016). Panamá inauguró el canal ampliado. La nación. Recuperado https://www.lanacion.com.ar/1912822-panama-inauguro-la-ampliacion-del-canal-costo-5450-millones-de-dolares

7. Inteligencia petrolera.(2017). Movimiento de petróleo mundial. Recuperado de http://inteligenciapetrolera.com.co/inicio/movimiento-de-petroleo-a-traves-de-puntos-estrategicos-chokepoint/

8.Cadenas de suministro. (2016) Informe de otro año difícil para el transporte maritimo. Recuperado de http://www.cadenadesuministro.es/noticias/el-transporte-maritimo-de-graneles-solidos-experimentara-otro-ano-dificil-en-2016/

9. Asociación de navieros españoles ANAVE.(2017). 2017 otro año crítico. Recuperado de https://www.anave.es/images/editorial/2016/editorial_bia1216.pdf

10.Autoridad del canal.(2017). Estadísticas de trafico. Recuperado de http://micanaldepanama.com/ampliacion/2017/03/canal-ampliado-alcanza-hito-de-mil-transitos-neopanamax/

11. Cámara de Comercio de Santa Marta.(2018). Boletín digital de Comercio Exterior. Recuperado de https://shoutout.wix.com/so/6L-5DiLu?cid=0®ion=a46d9926-94d0-4163-50f4-c80eb20e84df#/main

12 Tsukimori, O. (2018, 20 de abril). *Panama Canal LNG volume soars as global demand grows*. MarineLink. Recuperado de https://www.marinelink.com/news/panama-volume-global436608

13 Moreno, E. (2018, 7 de febrero). *Panama Canal expects LNG tanker traffic to rise 50 pct -official*. Reuters. Recuperado de https://www.reuters.com/article/panamacanal-lng/panama-canal-expects-lng-tanker-traffic-to-rise-50-pct-official-idUSL2N1PV1EJ

14. The Bolletin Panamá. (2017).Operadores portuarios chinos se extienden de modo agresivo. Recuperado de http://thebulletinpanama.com/es/2017/08/operadores-portuarios-chinos-se-expanden-de-un-modo-agresivo/

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS DE IMPACTO DE LA DE OPERADORES GLOBALES DE TERMINALES PORTUARIOS EN EL MERCADO PORTUARIO COLOMBIANO

Data de aceite: 02/06/2023

Fredy Armando Cuervo Lara
Jefe de planeación, Universidad Cooperativa de Colombia, Colombia

RESUMEN: Este estudio se realizó a partir de la necesidad de considerar cual ha sido el impacto de la entrada de operadores globales de terminales portuarios en el mercado portuario colombiano, el cual ha venido experimentado transformación y evolución desde la emisión de la ley 1ª de 1991, a partir de la cual se definió el estatuto de puertos marítimos y la privatización portuaria colombiana. Han sido 26 años en los cuales el esquema portuario ha logrado incrementar volúmenes de carga, cantidad y tipos de operadores portuarios, esquemas de operación y una serie de transformaciones que vale la pena evaluar y analizar en su impacto en el mercado de servicios logísticos portuarios. Se realizó un análisis de las implicaciones las razones por las cuales el mercado portuario Colombiano evolucionó de concesiones otorgadas a sociedades portuarias regionales con alto porcentaje de participación estatal, a sociedades privadas respaldadas por los grandes operadores de terminales portuarios, cuya capacidad de inversión es elevada y comparativamente superior a la de los operadores nacionales. Adicionalmente se realizó un análisis histórico comparativo de movilización de carga por zonas portuarias, terminal y por tipo de operador portuario. Entre los resultados del estudio se observa como los terminales colombianos lograron movilizar más de 210 millones de toneladas de carga, tanto en terminales públicos como en terminales privados. De este tonelaje total el 25% lo moviliza la zona portuaria de ciénaga y el 20% la zona portuaria de Guajira, la carga prioritaria de estas zonas es el carbón, las demás zonas portuarias cuentan con una diversidad más fraccionada de tipos de carga entre los cuales se destaca el mercado de contenedores y servicios logísticos especiales para cargas rodadas, cargas de proyectos. El estudio muestra como la entrada de los operadores globales en zonas que antes eran manejadas por las sociedades portuarias regionales, ha generado una nueva alternativa de servicios para navieros y clientes con un crecimiento superior al promedio, evidenciando que servicios como trasbordos y tránsitos han sido incursionados por estos operadores, que están generando un valor agregado a

la logística portuaria, es así como los servicios de transbordo en el último año crecieron en 20% por el aporte de estos operadores globales.

1 I INTRODUCCIÓN

Las políticas de mejoramiento portuario Colombiano partieron de un modelo de concesión instaurado a partir de 1991, año en el que se emitió el Estatuto de Puertos Marítimos y se definieron reglas de juego para el proceso de concesiones portuarias que entrarían a modernizar y sacar del rezago administrativo, operativo y financiero al sector portuario nacional.

A partir de ese momento empieza una nueva dinámica en la concepción de proyectos portuarios y una diversificación de servicios altamente competitivos que inicialmente fueron ofertados por las sociedades portuarias regionales, dando paso así a la construcción de nuevos terminales, ligados a proyectos productivos de las regiones, generando competitividad logística en las áreas de influencia de cada terminal.

La competencia entre los terminales ha generado un estímulo de inversión en firmas extranjeras que han visto el sector como una oportunidad de crecimiento y desarrollo, el sector ha visto como la inyección de capital extranjero ha sido una posibilidad de expansión y diversificación de se oferta de servicios portuarios, hoy en día se observa como proyectos portuarios que hace 20 años se veían como poco viables, han sido implementados , generando una realidad muy diferente en la eficiencia en operaciones portuarias. Este estudio pretende mostrar el efecto de la entrada de los operadores globales en el mercado portuario Colombiano, en la región Pacifica y la región Atlantica.

2 I REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Contexto Portuario Colombiano

Posterior a la ley 1ª. de 1991, por medio de la cual se establece el estatuto de puertos marítimos, se da inicio a un proceso de desarrollo portuario, el cual se fundamentó en la inversión privada a través de la figura de concesión. En ese primer momento se entregaron en concesión las instalaciones portuarias que hacían parte de la extinta empresa estatal Colpuertos, entre ellas Barranquilla, Buenaventura , Cartagena y Santa Marta.

La ley definió que para entrar a participar en estas concesiones, debían constituirse en sociedades portuarias interesadas en administrar e invertir en las instalaciones portuarias entregadas por 20 años.[1] 15 años después de la concesión las sociedades portuarias presentaban una estructura accionaria que variaba de acuerdo a cada sociedad constituida, para el caso de Sociedad portuaria de Buenaventura, se observaba la siguiente

1 Arias J. (2009).. Desarrollo de las concesiones portuarias regionales 2009. Bogotá, Colombia. Ed.Contraloria Nacional.

estructura accionaria principal.: Buenaventura 15% alcaldía, 85% privados, Cartagena 100% privados, y Santa Marta 12% Departamento de Magdalena, 11% alcaldía, privados 77%

2.2 Panorama empresarial actual de las sociedades portuarias

Hoy en día el panorama accionario ha cambiado y la participación empresarial ha involucrado accionistas extranjeros, como es el caso de la sociedad portuaria de Barranquilla, en la cual en el 2012 el grupo Southern Cross de Chile adquiere más el 50% de las acciones de la sociedad.

A partir de 2014 el grupo empresarial puerto de Barranquilla, se constituye y la sociedad portuaria de Barranquilla hace parte del mismo, este grupo está integrado por sociedades vinculadas al puerto de Barranquilla, entre ellas Granpuerto SAS, OSI Trademar SA, Sociedad portuaria Riogrande SA, [2]

Así mismo la sociedad portuaria de Cartagena hace parte del grupo Puerto de Cartagena, el cual se constituye como una plataforma logística en el caribe, el cual esta integrado por las siguientes empresas: Sociedad portuaria de Cartagena, Contecar, CEC Compañía estibadora Colombiana, Sociedad portuaria operadora internacional, GPC Tugs remolcadores, terminal fluvial de Andalucia en Gamarra (Cesar).

En cuanto a Santa Marta , se conformó el grupo puerto de Santa Marta, el cual está integrado por : Sociedad portuaria de Santa Marta. Operlog (Graneles), Carbosan (Carbón), Santa Marta Internacional terminal container – SMITCO, Barranquilla Container terminal- BCT. Se observa una clasra estructuración empresarial por líneas de negocio del puerto,

En el caso de la sociedad portuaria de Buenaventura , a partir de mayo de 2016, se constituyó el grupo sociedad portuaria de buenaventura, con la fusión de Tecsa y la sociedad portuaria de Buenaventura. El 83% de acciones están en manos de privados, el 17% es de carácter público.

2.3 Comparativo de movimiento de carga en zonas portuarias Colombianas

Las zonas portuarias colombianas Región Caribe , Región pacifico y Rio Magdalena, presentan un movimiento de carga en 2017, que alcanzó 205[3] millones de tons., de las cuales el 86% de la carga se moviliza por la región caribe y el 14 % por la región pacifico., en la tabla se observa esta distribución.

Tonelaje de carga por zona portuaria

En cuanto al tipo de carga movilizada se observa como en 2017 , de las 205 millones de toneladas, el 41% correspondió a carbón, el 27% a granel líquido, el 18% corresponde a contenedores, el 7% corresponde a granel sólido y el 4% corresponde a carga general.

2 Puerto de Barranquilla.(2017). Estructura accionaria de Puerto de Barranquilla recuperado de http://www.puertodebarranquilla.com/index.php/grupo-empresarial-puerto-de-barranquilla
3 Superintendencia de puertos y transporte de Colombia .(2017). Informe de actividad portuaria del 2017.

En cuanto a las jurisdicciones portuarias la zona de ciénaga es la que representa un más alto volumen de carga con 48 millones de toneladas, las cuales corresponden en su totalidad a carbón, seguido de Cartagena con 7 millones de toneladas. Cabe anotar que la región caribe cuenta con 8 jurisdicciones portuarias, la región pacifico prácticamente cuenta con una jurisdicción de alto movimiento de carga que es Buenaventura.

Por tipo de trafico los puertos Colombianos, movilizaron 135 millones de toneladas en exportación, 39 millones de ton en importación, el comercio exterior movilizó en total 175 millones de ton, el tráfico de tránsito y trasbordo representó el 21% del total movilizado.

Los principales productos exportados son un conjunto de 10 productos, entre los cuales está el carbón como el predominante en volumen de carga, siendo de 85 millones de toneladas, petróleo y derivados 39 millones; los demás productos presentan tonelajes muy inferiores como el coque, banano, papel, polietileno, entre otros, estos productos se observan en la tabla

Las importaciones en volumen de carga llegaron a ser de 39 millones de toneladas, de las cuales se importaron el 63% por la región caribe y el 36% por la región pacifica, la jurisdicción portuaria con más volumen de importación fue Buenaventura con 14 millones de toneladas.

3 | METODOLOGÍA

La metodología aplicada en este estudio implicó la revisión bibliográfica de informes de gestión portuaria tanto estatales como del sector privado, realizando un análisis de las implicaciones y las razones por las cuales el mercado portuario colombiano evolucionó de concesiones otorgadas a sociedades portuarias regionales con alto porcentaje de participación estatal, a sociedades privadas respaldadas por los grandes operadores de terminales portuarios.

Se realizó una revisión de los proyectos portuarios implementados en los últimos 5 años y se dimensionó su impacto en términos de capacidad instaladas, eficiencia portuaria, equipamiento y origen de inversionistas del proyecto.

Así mismo se realizó un análisis de ventajas comparativas que presentó cada proyecto portuario implementado, se hizo un comparativo de fortalezas del operador global en Colombia y el análisis espacial de conectividad de los proyectos en la región de influencia. Adicionalmente se realizó un análisis histórico comparativo de movilización de carga por zonas portuarias, terminal y por tipo de operador portuario.

4 I RESULTADOS

4.1 Los operadores globales con presencia en Colombia

APM terminals es una filial de grupo Maersk que inició operaciones en 1958, y se desarrolló en el transporte de contenedores con la naviera Sealand , iniciando con 236 contenedores entre Rotterdam y Port Elizabeth.[4] APM es un operador global que tiene presencia en 59 países y opera 183 terminales , cuenta con una red de terminales distribuidos en los 5 continentes de la siguiente forma:

Continente	Número de países	Terminales
África	25	44
Asia	8	53
Europa	13	38
Latino América	11	34
Norte América	1	4
Rusia	3	10

Tabla 1. Distribución de la operación de APM en el mundo

Este operador global ha logrado reconocimientos significativos por su actividad portuaria, entre los cuales esta:

Año	Reconocimiento obtenido
2017	GE SSA Transportation Strategic Partner of the Year Global Ports Forum "Best Terminal in South Asia" World record for single vessel loading
2016	*ICHCA Safety Innovation Award* Tallest Port Crane in North America Leadership and Technology "Best Container Handling and Port Development Company of 2015"
2015	Lloyd's List Global Awards "Port Operator Award" *All-India Maritime & Logistics Awards "Container Terminal of the Year"*

Tabla 2.Algunos Reconocimientos obtenidos por APM Terminals[5].

4.2 Presencia de APM en Colombia

APM hace presencia en Colombia, a través de la operación en el terminal de contenedores de buenaventura (TECBUEN), el cual está localizado en la Bahia de buenaventura. La participación accionaria de APM es de 61% y el otro 39% es perteneciente al grupo colombiano GEPSA.

Es un terminal que tendrá una capacidad de movilización de 650.000 TEU[6], presenta

4 APM Group .(2017). Historia de APM. Recuperado de http://www.apmterminals.com/en/about-us/history
5 APM Group (2017). Reconocimientos de APM en 2015-2017. Recuperado de http://www.apmterminals.com/en/about-us/awards
6 De monie G. (1988). Monografias UNCTAD sobre gestión de Puertos. Nueva York. Estados Unidos. Recuperados de

una longitud de muelle de 400 metros, un área total de 23 hectáreas, la eslora máxima total permitida es de 440 metros. El terminal ha logrado posicionarse rápidamente en la zona de Buenaventura con recalada de buques de líneas marítimas como APL, Hapag Lloyd, K-Line, Maesrk – sealand, MOL, NYK

El terminal está localizado en la bahía de Buenaventura, con una via de acceso principal, previa al acceso de la sociedad portuaria de Buenaventura.

El terminal cuenta con los siguientes equipos para el manejo de carga:

Equipos	Instalaciones
4 Grúas pórtico de muelle Super – Post Panamax (3 hasta 19 y 1 hasta 23 contenedores de manga)	3 Bodegas para realizar operaciones logísticas. (Café, Carga Suelta y Azúcar)
1 Grúa Móvil STS	2 Bodegas de Inspección de carga.
13 Grúas de patio RTG eléctricas – diesel	Equipo para patio y bodegas 28 Elevadores de 6.000 y 15.000 Lb
24 TTs Terminal Tractors	Servicios reefer 280 Tomas para contenedores refrigerados.
5 Reachstackers	Patios 23 Hectáreas para el almacenamiento de los contenedores.
4 ECH Empty Container Handlers	

Tabla 3. Equipos de Terminal TECBUENAVENTURA

El terminal en su segunda fase recibió una inversión cercana a 156 millones de dólares, en infraestructura[7] , que sumaron 4 grúas pórtico, 13 grúas pórtico eléctricas sobre neumáticos y 5 grúas apiladoras automáticas, entre otros equipos. Además fortaleció ventajas competitivas y parte de las obras de fase 2.

4.3 Terminal APM :Cartagena Container Terminal Operator- CCTO

Es un terminal operado por la compañía Colombiana de Puertos Asociados – COMPAS S.A, en asocio con APM Terminals, la participación accionaria mayoritaria es de APM con el 51%. Compas, fue creada entre el Grupo Argos y Southern Port Holding Inc. (conformada por la familia Echavarría Obregón, de Colombia, y Ership S.A., de España). Además de ser un operador de terminales importante en el país, tiene operaciones en terminales en Houston, Texas (USA) y Panamá.

El terminal presenta una capacidad instalada para atender 250.000 TEUs y 1.5 millones de toneladas de carga general, es un terminal multipropósito, localizado en una zona estratégica de la bahía de Cartagena y con unas bondades logísticas de accesibilidad muy importantes, colindando con puertos como la sociedad portuaria de Cartagena – terminal de Manga.

---

http://www.unctad.org/es/docs/ship4946_sp.pdf
7 Cámara Colombiana de Infraestructura. (2017) Informe de cámara colombiana de infraestructura.2017. Recuperado de https://issuu.com/camaracci/docs/bitacora_febrero_2018

El terminal puede manipular los siguientes tipos de carga: contenedores, gráneles secos, granel alimenticios, carga de proyecto y vehículos.

Para lograr un terminal con capacidad de atención de buques de gran tamaño, fue necesario invertir más de 200 millones de dólares en la expansión de patios, muelles , inversión en equipos para manejo de contendores, con el propósito de lograr capacidad para atender buques hasta de 13.000 TEUs de capacidad, los cuales hacen transito en Colombia para cruzar el canal de Panamá, después de la ampliación inaugurada en julio de 2016. Este terminal hace parte de la red de terminales de APM en Latinoamérica, en la que se encuentran puertos como Callao, Buenos Aires, Santos, Pecem, Itaji en Brazil La capacidad operativa[8] del terminal se resume en la tabla.

Características / equipos	Características/equipos
Área total: 22 Hectáreas	6 reach stacker de 40 toneladas
Capacidad operativa: 4 millones ton anuales	5 top loaders de 40 toneladas
Capacidad de 250.000 TEUs	Tracto camiones portuarios 29
3 grúas móviles Liebherr de contenedores - SWL 45 toneladas y de carga general - SWL 100 toneladas	Montacargas de 28 tons 1
Canal de acceso norte profundidad 12 m Canal de acceso sur 11.5 m	Montacargas de 2,5 / 5,0 / 7,5 / 12 y 17 toneladas
Zona primaria aduanera	Deposito habilitado
Deposito de apoyo logístico internacional	

Tabla 4. La capacidad operativa de Terminal CCTO

El terminal recibe las siguientes líneas marítimas: Maersk, Sealand, Intermarine, Seaboard marine, Dan-Gulf, Weco- RoRo, las cuales programan buques semanales, garantizando actividad regular y permanente en el las instalaciones portuarias y dando sostenibilidad financiera a la operación del terminal.

4.4 Presencia de PSA e Internacional Container Terminal Services

Estos 2 operadores globales hacen presencia en Colombia a través del puerto de aguadulce, localizado en la bahía de Buenaventura, el cual entró en operación en 2017 , complementa los servicios portuarios de la zona portuaria pacifica Colombiana.

PSA inicia operaciones en Singapur y posteriormente en Amberes, participa en más de 40 proyectos portuarios en los 5 continentes con altos niveles de eficiencia, su principal línea de negocio es mejorar terminales de contenedores y multipropósito. Sus operaciones globales están distribuidas así:

8 Cartagena Container terminal Operator.(2017). Especificaciones operativas 2017. Colombia. Recuperado de: http://www.compas.com.co/es/terminales/cartagena

Continente	Número de países	Terminales
Sur de Asia	4	3
Medio oriente -Asia	2	6
Norte de Asia	3	11
Europa	4	7
América	3	3
Total	16	30

Tabla 5. Localización de operaciones de PSA

La operación está concentrada en el norte de Asia, entre sus principales puertos se encuentra el PSA Singapure[9] con las siguientes características: 67 muelles, 21 km de línea de atraque,778 has,18 mts de calado efectivo, 241 grúas pórtico de muelle, capacidad operativa de 50 millones de TEUs.

La operación en Latinoamérica la realiza en tres terminales, localizados en Argentina, panamá y Colombia, las características de estos terminales son las siguientes:

Característica	Sociedad Puerto Industrial Aguadulce	Panamá International Terminal	Exolgan Container Terminal
Localización	Colombia	Panamá	Argentina
Número de muelles	3	3	3
Longitud línea de atraque m.	830	1140	1144
Área Hectáreas	128	40	54.5
Calado efectivo en m.	16.5	16.3	10
Número de gruas pórtico de muelle	6	11	10
Capacidad operativa	1.000.000 Teus	2.000.000 Teus	1.100.000Teus

Tabla 6. Características de Terminales PSA en Latinoamérica

Entre tanto, Internacional Container Terminal Services ICTSI , es un operador global de origen filipino creado en 1987 y con un proceso de expansión internacional desde 1994, cuya operación se distribuye en los 5 continentes de la siguiente forma:

Continente	Número de países	Terminales
Asia pacifico	6	16
África	2	2
América	7	7
Europa y medio oriente	4	4
Total	19	29

Tabla 7. Localización de operaciones de Internacional Container Terminal Services[10]

9 PSA GROUP. (2017).Especificaciones técnicas de terminales. Recuperado de www.globalpsa.com/portsworldwide/
10 International Container terminal service.(2017). Informe anual de actividades. Recuperado de http://www.ictsi.com/content/investor-relations/annual-reports/

Este operador hace presencia en 19 países , operando 29 terminales portuarios de diferentes magnitudes, en 2017 movilizó 9.1 millones de Teus , un 5.3% más que lo movilizado en 2016.[11]

En 2017 inició operaciones en Puerto de Agua dulce Colombia, en MGT en Congo, Port of Lae en Papua Nueva Guinea, Nort Harbor domestic Terminal de Manila, Cacite Gateway Terminal en Filipines.

4.5 Sociedad puerto Industrial de Aguadulce- Buenaventura- Colombia

Este terminal que opera desde 2017, es una apuesta de PSA y Internacional Container terminal services[12], a la modernización en el manejo de contenedores en el Pacifico Colombiano, en es una instalación portuaria cuya localización favorece el propósito logístico de mejorar la competitividad y eficiencia portuaria regional. Está localizado en el pacifico colombiano, como punto de conexión de las rutas marítimas hacia el sur de América, Norteamérica , Asia y centro América, es un punto estratégico de pivote para rutas comerciales de gran flujo como son las rutas asiáticas y de Estados Unidos. La vía de acceso al puerto es la vía alterna , cuyo tráfico es exclusivamente de carga, lo cual es una ventaja porque las condiciones de orden público no afectan la vía de acceso, tal y como sucede en otros terminales.

El equipamiento principal del terminal es el siguiente:

Equipo	Equipo
4 grúas super post Panamax	32 Tractores de terminal
10 Grúas RTG	3 Front loader para container
3 Reach Stacker	34 remolques de terminal
684 plugs para refeer container	

Tabla 8. Equipamiento de terminal Aguadulce

Se observa como la operación está dedicada exclusivamente al manejo de contenedores tanto en muelle como en patio, la inversión de construcción de infraestructura y dotación de equipos fue cercana a los 500 millones de dólares,[13] está preparado para recibir buques hasta de 13.000 Teus. En la foto se observa la estructura del muelle marginal y la zona de acceso en espigón perpendicular a la zona de almacenamiento de contenedores. Ver fotografía

El puerto de agua dulce está en capacidad de manejar 650.000 Teus[14] anuales,

11 Internacional Container Terminal Service . (2017).Reporte anual de Gestión. Recuperado de http://www.ictsi.com/admin/images/download/0REPORT_%20(1).compressed.pdf
12 Sociedad puerto industrial de Agua Dulce. (2017). Capacidad instalada del terminal. Recuperado de https://www.puertoaguadulce.com/es/se-inauguro-puerto-aguadulce-uno-de-los-mas-grandes-y-modernos-del-pacifico/
13 Agencia Nacional de Infraestructura de Colombia.(2017) Reporte anual de Infraestructura 2017. Recuperado de https://www.bnamericas.com/company-profile/es/agencia-nacional-de-infraestructura-ani
14 Sociedad Puerto Industrial Agua Dulce.(2017). Informe de gestión 2017.

ofertando servicios de manipulación, cargue , descargue, inspección, transbordo internacional, con equipos de última tecnología.

5 I CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El modelo portuario colombiano está presentando una transformación acelerada en cuanto a la formulación, ejecución y puesta en marcha de proyectos portuarios, debido a que los inversionistas extranjeros con gran experiencia a nivel mundial, han empezado a invertir en terminales modernos con altos estándares de competitividad.

Las sociedades portuarias que inicialmente se constituyeron para dar apertura a las concesiones de primera generación a principio de los años 90, se han revaluado, inicialmente en la extensión del plazo de concesión por otros 20 años, dando espacio a un horizonte de tiempo más amplio que permita proyectar mejor las inversiones y generar el retorno de la inversión en forma tal que se garantice la sostenibilidad financiera del negocio portuario.

En cuanto al componente accionario de las sociedades portuarias, el proceso de entrada de inversionistas con operaciones globales ha dinamizado la modernización, porque se ha logrado implementar nuevas tecnologías en líneas de negocio como contenedores en algunos puertos a través de alianzas con estos operadores globales, como ha sido el caso de Santa Marta, con su terminal SMITCO y BCT , en asocio con el operador SSA internacional.

El mercado de carga Colombiano muestra un volumen total de 205 millones de toneladas, de las cuales el 41% corresponde a carbón, como carga mayoritaria, el 27% es granel líquido, el 18% corresponde a contendores y el 8% corresponde a granel alimenticio. Es importante notar como en los últimos 10 años el volumen de contenedores ha ido incrementándose paulatinamente, representando una línea de negocio con presencia en casi todas las zonas portuarias.

La consolidación de grupos portuarios en Colombia ha dinamizado la modernización portuaria y la clusterización de servicios portuarios y logísticos, en zonas como Cartagena, Buenaventura, Barranquilla, Santa Marta y Guajira.

Operadores globales como APM , integran redes de terminales , que comparten economías de escala en cuanto a modernización de infraestructura, sistemas de información, tecnología de manejo de carga, alianzas intermodales de transporte, lo cual potencializa la competitividad de terminales y de los puertos Colombianos.

La realidad de la operación portuaria en zonas como Buenaventura, muestran como hoy se cuenta con ocho concesiones en funcionamiento y cada una de ellas cuenta con conglomerados empresariales que incluyen operadores globales, lo cual permitirá integrar más fácilmente a los terminales a los flujos de carga de las principales rutas marítimas de la región.

El contexto regional se ha visto influenciado positivamente por proyectos en funcionamiento como la ampliación del canal de panamá, por medio del cual se están requiriendo servicios adecuados para buques de mayor tamaño, los cuales demandan servicios especializados de otras características y que deberán ser suplidos por las terminales del área de influencia del canal.

REFERENCIAS

1 Arias J. (2009).. Desarrollo de las concesiones portuarias regionales 2009. Bogotá,Colombia. Ed.Contraloria Nacional.

2 Puerto de Barranquilla.(2017). Estructura accionaria de Puerto de Barranquilla recuperado de http://www.puertodebarranquilla.com/index.php/grupo-empresarial-puerto-de-barranquilla

3. Superintendencia de puertos y transporte de Colombia ,(2017). Informe de actividad portuaria del 2017.

4 APM Group .(2017). Historia de APM. Recuperado de http://www.apmterminals.com/en/about-us/history

5 APM Group (2017). Reconocimientos de APM en 2015-2017. Recuperado de http://www.apmterminals.com/en/about-us/awards

6 De monie G. (1988). Monografias UNCTAD sobre gestión de Puertos. Nueva York. Estados Unidos. Recuperados de http://www.unctad.org/es/docs/ship4946_sp.pdf

7 Cámara Colombiana de Infraestructura. (2017) Informe de cámara colombiana de infraestructura.2017. Recuperado de https://issuu.com/camaracci/docs/bitacora_febrero_2018

8 Cartagena Container terminal Operator.(2017). Especificaciones operativas 2017. Colombia. Recuperado de: http://www.compas.com.co/es/terminales/cartagena

9 PSA GROUP. (2017).Especificaciones técnicas de terminales. Recuperado de www.globalpsa.com/portsworldwide/

10 International Container terminal service.(2017). Informe anual de actividades. Recuperado de http://www.ictsi.com/content/investor-relations/annual-reports/

11 Internacional Container Terminal Service . (2017).Reporte anual de Gestión. Recuperado de http://www.ictsi.com/admin/images/download/0REPORT_%20(1).compressed.pdf

12. Sociedad puerto industrial de Agua Dulce. (2017). Capacidad instalada del terminal. Recuperado de https://www.puertoaguadulce.com/es/se-inauguro-puerto-aguadulce-uno-de-los-mas-grandes-y-modernos-del-pacifico/

13.Agencia Nacional de Infraestructura de Colombia.(2017) Reporte anual de Infraestructura 2017. Recuperado de https://www.bnamericas.com/company-profile/es/agencia-nacional-de-infraestructura-ani.

14. Sociedad Puerto Industrial Agua Dulce.(2017). Informe de gestión 2017.

CAPÍTULO 4

APLICAÇÃO DO ANDROID PARA ESTUDAR AS VELOCIDADES ANGULARES DE UM MECANISMO DE DESLIZAMENTO POR MANIVELA

Data de submissão: 14/04/2023 *Data de aceite: 02/06/2023*

Vergara Hernández Erasto
Instituto Politécnico Nacional, UPIIH.
San Agustín Tlaxiaca, 42080, Hidalgo, México

Cea Montufar César Eduardo
Instituto Politécnico Nacional, UPIIH.
San Agustín Tlaxiaca, 42080, Hidalgo, México

Cerro Ramírez Miguel Angel
Instituto Politécnico Nacional, UPIIH.
San Agustín Tlaxiaca, 42080, Hidalgo, México

Fernández Anaya Alfredo
Instituto Politécnico Nacional, UPIIH.
San Agustín Tlaxiaca, 42080, Hidalgo, México

RESUMEN: En el presente trabajo se desarrolló una aplicación para el sistema ANDROID de carácter didáctico para realizar el estudio cinemático de un mecanismo de cuatro barras en su configuración manivela-biela-corredera. Se programó a partir del análisis analítico de la ecuación de lazo para el mecanismo en estudio para encontrar las velocidades angulares de la manivela y de la biela. La interfaz de programación se realizó en el sistema APP Inventor. La aplicación se usó en dos grupos de estudio reflejándose una mejora en el proceso de aprendizaje activo en los estudiantes de ingeniería.
PALABRAS CLAVE: Mecanismo de cuatro barras, análisis de velocidad, tecnologías de la información.

ABSTRACT: In this work, an ANDROID application was developed for the ANDROID system of didactic character to perform the kinematic study of a four-bar mechanism in its crank-crank-rod-race configuration. It was programmed from the analytical analysis of the loop equation for the mechanism under study to find the angular velocities of the crank and the connecting rod. The programming interface was done in the APP Inventor system. The application was used in two study groups reflecting an improvement in the active learning process in engineering students.
KEYWORDS: four-bar linkage, velocity analysis, information technology

1 | INTRODUCCIÓN

Los mecanismos de cuatro barras han estado presentes desde hace varios

años tanto en aplicaciones industriales como en mecanismos cotidianos. El estudio de un mecanismo de cuatro barras se aborda en dos grandes partes: el análisis y la síntesis. En el análisis se estudia y caracteriza al mecanismo de manera cinemática y dinámica, en ambos casos los mecanismos deben haber sido previamente diseñados. Mientras que la síntesis se ocupa de determinar los parámetros geométricos para realizar los movimientos deseados. Para el caso de la cinemática de un mecanismo de cuatro barras un parámetro importante es conocer la velocidad angular de cada uno de los eslabones que la componen y de los puntos de las articulaciones.

Principalmente existen dos métodos para el análisis cinemático de mecanismo: i) método gráfico a través de centros instantáneos, y ii) método analítico, donde se puede abordar de forma vectorial, o bien, con la representación en el plano complejo de un eslabón.

Hoy en día, el uso de las tecnologías de la información (TI) en el campo de la educación, en los últimos meses se ha visto impulsado por el rápido desarrollo de las computadoras las cuales han transformado la manera en como los alumnos adquieren el conocimiento de manera significativa. Una de las herramientas en la enseñanza de la ingeniería es el desarrollo de programas y aplicaciones para su uso en las clases.

En el presente trabajo se desarrolló un programa en para el sistema ANDROID con el propósito de apoyar a los estudiantes en el aprendizaje cinemático de un mecanismo de cuatro barras, en su configuración manivela-biela-corredera.

2 | DESARROLLO

El estudio se inicia con un mecanismo de cuatro barras como se muestra en la Figura 1. El análisis toma en cuenta la representación de Euler de los números complejos:

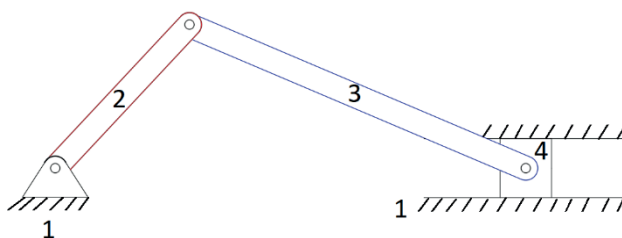



Figura 1.- Configuración de mecanismo manivela-biela-corredera

$$z_n = R_n e^{i\theta_n} \quad (1)$$

Al aplicar la ecuación de lazo cerrado (ec.1) al diagrama de variable compleja que se muestra en la Figura 2. se obtiene la ec. (2)

$$\vec{z_1} + \vec{z_2} + \vec{z_3} + \vec{z_4} = 0 \quad (2)$$

dónde z_n es la representación compleja de cada eslabón.

En el análisis matemático se considera que la velocidad de la corredera, V_c es conocida, mientras que las velocidades w_2 y w_3 son calculadas, la velocidad del eslabón 1 al ser fijo, es $w_1=0^{rad}/_{s}$.

El análisis cinemático para encontrar la velocidad angular de la manivela y biela, tendrá como variables de entrada las posiciones angulares (θ_N) de cada eslabón, su longitudues y la velocidad lineal de la corredera (Vc).

$$\frac{\overrightarrow{z_1}}{dt}+\frac{\overrightarrow{z_2}}{dt}+\frac{\overrightarrow{z_3}}{dt}+\frac{\overrightarrow{z_4}}{dt}=\mathbf{0} \quad (3)$$

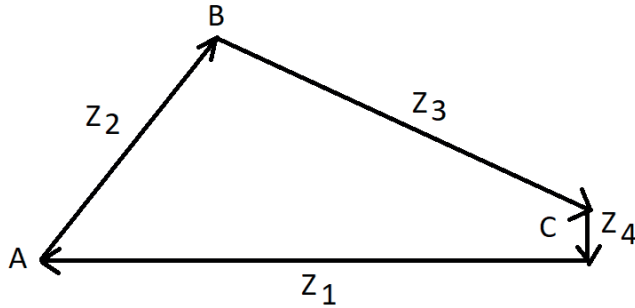



Figura 2.- Diagrama vectorial del mecanismo de cuatro barras genérico

Al considerar w_1=0, y sabiendo $\overrightarrow{v_n} = \overrightarrow{w_n} x \overrightarrow{z_n}$ se tiene que:

$$(\overrightarrow{w_2} x \overrightarrow{z_2}) + (\overrightarrow{w_3} x \overrightarrow{z_3}) + (\overrightarrow{w_4} x \overrightarrow{z_4}) = \mathbf{0} \quad (4)$$

El vector $\overrightarrow{z_n}$ de la ec. 4 se representa en términos de sus componentes:

$$\overrightarrow{z_n} = R_n cos\theta_n i + R_n sen\theta_n j \quad (5)$$

representando la ec. (5) como:

$$\overrightarrow{z_n} = z_{nx} i + z_{ny} j \quad (6)$$

y el vector de la velocidad angular de cada cuerpo queda definido como:

$$\overrightarrow{w_n} = w_n k \quad (7)$$

La velocidad del punto B, $\overrightarrow{V_B}$ es :

$$\overrightarrow{V_B} = \overrightarrow{V_A} + \overrightarrow{\omega_{AB}}\, x\, \overrightarrow{r_{AB}} \quad (8)$$

Sustituyendo los vectores en la ec. (7) y considerando $\overrightarrow{V_A}$=0

$$\overrightarrow{V_B} = \omega_2 \hat{k}\, x\, [z_{2x}\, \hat{\imath} + z_{2y}\, \hat{\jmath}] \quad (9)$$

Pero también la velocidad del punto B, $\overrightarrow{V_B}$ es :

$$\overrightarrow{V_B} = \overrightarrow{V_C} + \overrightarrow{\omega_3}\, x\, \overrightarrow{r_3} \quad (10)$$

Sustituyendo los vectores en la ec. (9) se tiene que:

$$\overrightarrow{V_B} = V_c\, \hat{\imath} + [\omega_3 \hat{k}\, x(z_{3x}\hat{\imath} - z_{3y}\hat{\jmath})] \tag{11}$$

Igualando la ec. (8) y la ec. (10) se encuentra el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\begin{bmatrix} z_{2x} & z_{3x} \\ z_{2y} & -z_{3y} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_2 \\ \omega_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -V_c \\ 0 \end{bmatrix} \tag{12}$$

3 I PROGRAMACIÓN

En la etapa de la programación realizada para el sistema Android se realizó e implemento el diagrama de flujo con las operaciones que se muestran en la Figura 3. El inicio del programa es primeramente con la adquisición de los datos de la longitud y de la posición angular de la manivela y la biela, así como de la velocidad lineal y posición angular de la corredera, por último, las medidas angulares deben estar en el sistema sexagesimal, ver Figura 4. El siguiente paso en la estructura del programa es encontrar las velocidades angulares de la manivela (ω_2) y la biela (ω_3), las soluciones se encuentran con la ec. (11) respectivamente, luego entonces se despliega los resultados en la interfaz para una compresión de parte del alumno.

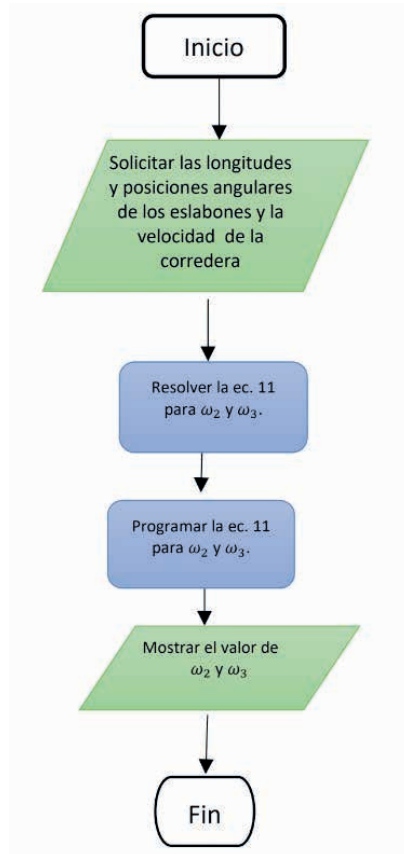



Figura 3.- Diagrama de flujo del programa desarrollado para análisis de posición de mecanismo de cuatro barras

Figura 4.- Pantalla de calculadora de mecanismos manivela-biela-corredera

4 I RESULTADOS

Una vez terminado el programa se realizó la prueba y depuración del mismo, para lo cual se utilizaron los datos que se muestran en la Tabla 1, las unidades de las longitudes de los eslabones son establecidas en unidades arbitrarias, mientras que las posiciones angulares están definidas en ángulos sexagesimales, los resultados de las velocidades angulares se dan en revoluciones por minuto (*rpm*). Valores negativos en las velocidades angulares implican un movimiento del eslabón en sentido horario.

Eslabón	Longitud (un. arb.)	Posición angular (°)	Velocidad lineal (un. arb.)
Manivela	5	60	---
Biela	4	300	---
Corredera	---	--	-10

Tabla 1 – Datos de prueba

Los resultados se muestran en la Figura 5

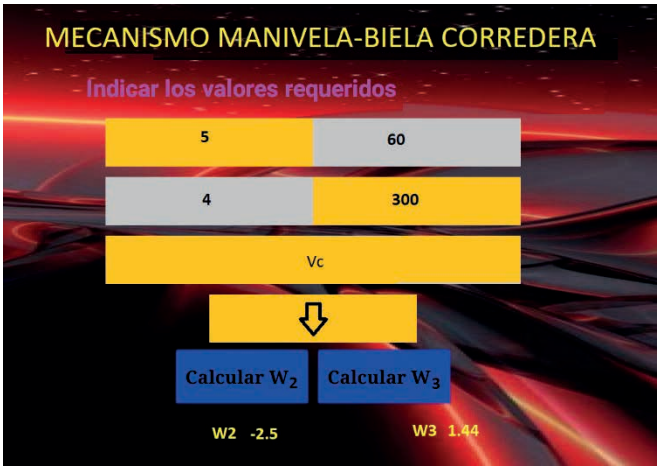



Figura 5.- Resultados obtenidos con los datos de la Tabla 1

De la ventana de resultados se obtienen el valor de la velocidad angular del eslabón 2 y del eslabón 2 que son de *–2.5 rad/s* y *1.44 rad/s* respectivamente. Así mismo en la zona gráfica el alumno puede observar la

Se realizó una segunda prueba donde se intentó que el la posición angular del eslabón de la manivela y de la biela estuvieran a 45°. Los datos para cumplir con la geometría se muestran en la Tabla 2.

Eslabón	Longitud (un. arb.)	Posición angular (°)	Velocidad angular (rpm)
Manivela	8	45	---
Biela	6	45	---
Corredera	---	--	-10

Tabla 2 – Datos de prueba

Figura 6.- Resultados de la simulación obtenidos con los datos de la Tabla 2

En la Figura 6 los resultados muestran que las velocidades angulares del eslabón 3 y del eslabón 4 son de la misma magnitud y el mismo sentido con valor de 0.7857 rad/s.

La aplicación desarrollada se implementó en un grupo 1 de 28 estudiantes y un grupo 2 de 25 estudiantes de la materia de "Análisis y síntesis de mecanismos" del programa académico de ingeniería mecatrónica de la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingenierías Campus Hidalgo (UPIIH) del Instituto Politécnico Nacional, creándose un experimento dónde se comparan el de resolución en los problemas de análisis de velocidad (método analítico) que le toma a los alumnos cuando utilizan la aplicación y cuando no la utilizan, los resultados se muestran en la Figura 7.

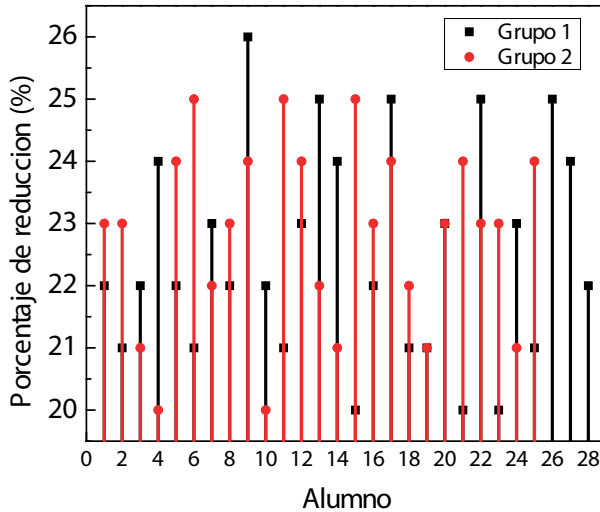



Figura 7 - Resultados de la simulación obtenidos con los datos de la Tabla 2

En la gráfica de la Figura 7 se observa que en promedio el grupo de alumnos presentó una reducción en el tiempo de la resolución correcta de los ejercicios de velocidades angulares del mecanismo de cuatro barras es en promedio del 22%, 21.94% para el grupo 1 y 22.8% para el grupo 2. Resaltar que en ambos grupos los alumnos presentaron algún porcentaje de reducción en la solución de los problemas, resultado que es esperado de acuerdo a los principios del aprendizaje significado.

5 I CONCLUSIONES

En el presente trabajo se desarrolló e implementó una aplicación en el entorno ANDROID, para encontrar las velocidades angulares de manivela y de la biela y de salida de un mecanismo de cuatro barras en su configuración manivela-corredera. El trabajo se aplicó en un grupo de alumnos de ingeniería, dónde los resultados muestran una reducción general en el tiempo de resolución de los problemas, fortaleciendo significativamente el conocimiento adquirido.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Secretaría de Investigación y Posgrado del Instituto Politécnico Nacional (SIP-IPN) de México (Proyecto 20231343 y Proyecto 20231151) por el apoyo otorgado.

REFERENCIAS

Chunfang Zhou, et al (2014), **Students' perceptions of creativity in learning Information Technology (IT) in project groups**, Computers in Human Behavior.

MATLAB: Building GUIs with MATLAB. (1996) Manual.

S. Sleesongsom, et al (2017), **Four-bar linkage path generation through self-adaptive population size teaching-learning based optimization**, Knowledge-Based Systems.

Sujin Bureerat, et al (2021) , **Constraint handling technique for four-bar linkage path generation using self-adaptive teaching–learning-based optimization with a diversity archiv**e, Engineering optimization.

Wen-Yen Li A (2010), **GA–DE hybrid evolutionary algorithm for path synthesis of four-bar linkage**, Mechanism and Machine Theory

COMPORTAMIENTO DE DEGRADACIÓN DE FIBRAS VEGETALES INCORPORADAS EN MATERIALES CEMENTOSOS

Data de aceite: 02/06/2023

Laryssa Oliveira Bento
Universidad Estatal de Maranhão
Bacabal – Maranhão
http://lattes.cnpq.br/5660871261959403

Thamila Barroso
Universidad Estatal de Maranhão
Bacabal – Maranhão
http://lattes.cnpq.br/5051879178810600

Amanda Fernandes Pereira da Silva
Ingeniero Civil
Teresina – Piauí
http://lattes.cnpq.br/6687283757018503

Alisson Rodrigues de Oliveira Dias
Universidad Estatal de Piauí
Teresina – Piauí
http://lattes.cnpq.br/7625882727010720

RESUMEN: El uso de fibras vegetales en composites cementicios ha sido objeto de muchas investigaciones, ya que es una alternativa que tiene ventajas ambientales, sociales y económicas. Esta aplicación busca mejorar las propiedades mecánicas, especialmente de la resistencia a la tracción. Sin embargo, su incorporación tiene algunas restricciones, ya que este material puede sufrir degradación química al exponerse al ambiente predominantemente alcalino de las matrices de cemento Portland, provocando la aparición de grietas y desprendimientos de la masa de hormigón, ya que la degradación que sufre la fibra es expansiva y genera microtensiones dentro de la matriz. Por lo tanto, el presente trabajo buscao presenta una discusión teórica sobre este fenómeno, sus manifestaciones patológicas y losmecanismos utilizados para evitarlo. Como resultado, fue posible caracterizar el escenario de manifestaciones patológicas debidas a la incorporación de fibras vegetales en compuestos cementosos y compilar algunas técnicas aplicables para evitar su degradación y, en consecuencia, el deterioro de la matriz.

PALABRAS CLAVE: Composites cementicios. Tratamiento de fibras. Materiales alternativos. Cemento Portland. Patologías.

INTRODUCCIÓN

La evolución de la actividad de la construcción es esencial para el progreso social y económico. Por otro lado, es responsable de mayores impactos ambientales, como el alto consumo de

recursos naturales para la producción de insumos de construcción y la producción de residuos. Ante este escenario, el sector de la construcción busca materiales alternativos para su uso en la construcción que cumplan con los parámetros técnicos de los materiales y promuevan la reducción de estos impactos.

El desarrollo sostenible en este entorno requiere la evaluación del rendimiento de los materiales con el fin de comprender el comportamiento a largo plazo de estas nuevas prácticas para realizar el uso de materiales sostenibles. El uso de fibras vegetales para reforzar compuestos cementosos ha sido actualmente objeto de muchas investigaciones con el fin de determinar las propiedades físicas y químicas de las fibras cuando están presentes en el medio alcalino de las matrices de cemento Portland. El uso de fibras vegetales en Brasil demostró ser una alternativa viable a través de la gran diversidad de plantas fibrosas en la fauna brasileña, es decir, un material en gran cantidad y renovable concibiendo la reforestación de las mismas.

Estudios preliminares han demostrado el uso de fibras vegetales aceptables en términos de esfuerzos con mayores propiedades mecánicas, con respecto a los esfuerzos de tracción, tanto en morteros como en concreto. Por otro lado, la compatibilidad química se vio afectada, ya que las fibras tienen un alto grado de degradación cuando están presentes en el medio alcalino de las matrices cementicias, lo que puede provocar la aparición de manifestaciones patológicas en hormigones y morteros, como grietas, debido al efecto expansivo que sufre la fibra vegetal al degradarse. Si este proceso de degradación es continuo, pueden seguir produciéndose grietas, haciendo que la masa de hormigón se descargue, dejando el refuerzo expuesto a la acción de agentes agresivos presentes en el aire atmosférico.

Por lo tanto, este trabajo tuvo como objetivo identificar los principales tipos de fibras vegetales aplicadas en la incorporación en hormigones y las principales manifestaciones patológicas ocurridas como resultado del fenómeno de degradación de la fibra, además de presentar algunos procesos utilizados para evitar este desgaste químico, identificando la eficienciay aplicabilidad delosmismos.. La base se basó en el análisis crítico de investigaciones relevantes, a través de la búsqueda de artículos publicados en las principales bases de datos (Scopus, ScienceDirect y Web of Science) y por palabras clave (fibras vegetales, hormigón, degradación, expansión, agrietamiento, manifestaciones patológicas, compuestos de matrices cementicias).

USO DE FIBRAS VEGETALES EN COMPOSITES CEMENTICIOS

El desarrollo de materiales compuestos reforzados por fibras de origen natural está motivado en gran medida por una mayor conciencia ambiental, debido a los problemas de eliminación de residuos y el agotamiento de los recursos petroquímicos. El uso de materiales naturales junto con técnicas de construcción modernas puede reducir los

residuos de construcción, aumentar la eficiencia energética y, al mismo tiempo, promover el concepto de sostenibilidad (DITTENBER y GANGARAO, 2012).

El uso de fibras vegetales en compuestos cementosos tiene algunas ventajas y desventajas. Entre las numerosas ventajas de esta técnica se puede destacar la gran diversidad de plantas fibrosas presentes en la fauna brasileña, bajo costo y costosa viabilidad para los pequeños productores. Los principales componentes de las fibras lignocelulósicas son: celulosa (40 a 50%), hemicelulosa (20 a 30%) y lignina (20 a 28%). Además de estos componentes se encuentran compuestos inorgánicos y solventes orgánicos, como pectinas, carbohidratos simples, gomas, saponinas, resinas, grasas, entre otros (OLIVEIRA, 2017).

Las matrices a base de cemento son frágiles y quebradizas y, bajo la acción de pequeñas fuerzas de tracción o deformaciones por elongación, tienden a la formación de grietas. El papel de las fibras, distribuidas de forma discontinua y aleatoria, es transponer las grietas, que surgen en el hormigón, ya sean causadas por las acciones de cargas externas o cambios de temperatura y humedad, como se puede ver en la Imagen 1. Las fibras causan una cierta ductilidad después del agrietamiento. Si las fibras son lo suficientemente resistentes, tienen la capacidad de adherirse a la matriz cementicia y, en cantidad suficiente, ayudarán a reducir la apertura de las grietas (LEMOS, 2019).

Sin embargo, como desventaja, los composites reforzados con fibras vegetales presentan pérdida de resistencia a medio y largo plazo debido al daño causado a las fibras, es decir, cambios en la estructura, composición y propiedades mecánicas, resultado de las reacciones químicas que se producen en la matriz. Por un lado, la porosidad de la matriz permite grandes variaciones en el contenido de humedad de las fibras y esto puede dar lugar a cambios morfológicos que causan pérdida de adhesión fibra-matriz. Por otro lado, la alta alcalinidad del cemento puede dañar las fibras y disminuir su capacidad de fortalecimiento (ARDANUY *et al.*, 2011).

Ambos fenómenos provocarán la aparición de grietas internas en la matriz de hormigón (Imagen 2), que debilitan la estructura del material, al tiempo que permiten la penetración de agentes agresivos a su interior, como cloruros y dióxido de carbono presentes en el aire atmosférico. Estos agentes pueden causar un grave deterioro al hormigón armado, al permitir el desarrollo de corrosión del refuerzo y, en consecuencia, reducir la durabilidad del material.

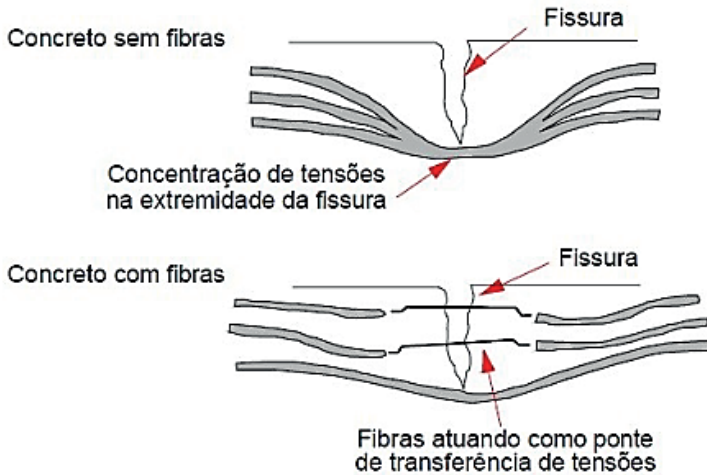



IMAGEN 1. Rendimiento de las fibras en la transferencia de tensiones dentro de la matriz cementicia.

Fuente: Medeiros (2012).

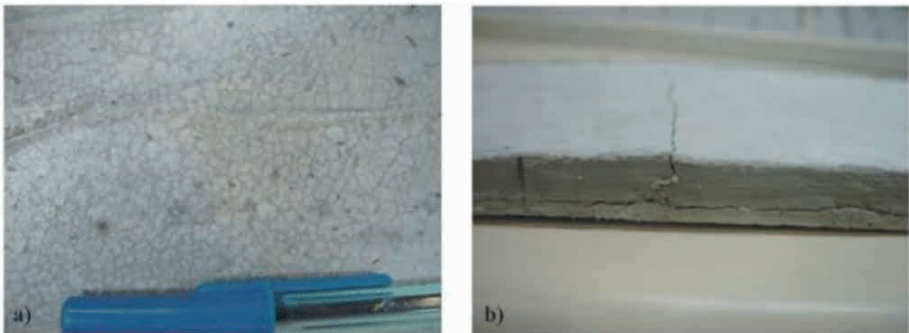



IMAGEN 2. Aparición de microfisuras mapeadas (a) y grietas (b) en compuesto cementicio debido a la degradación de la fibra vegetal incorporada.

Fuente: Lima *et al.* (2019).

DURABILIDAD DE COMPOSITES CON FIBRAS VEGETALES

En los compuestos cementicios, las fibras vegetales pueden sufrir diversos grados de degradación cuando se exponen al ambiente alcalino y a la intensidad de este elemento, que viene determinada por las características de la fibra. Dependiendo del tipo de fibra y la solución alcalina utilizada, puede haber incompatibilidad entre la fibra y la matriz que puede clasificarse como incompatibilidad química que a su vez puede debilitar o petrificar la fibra, e incompatibilidad física, que puede causar pérdida de adhesión (SILVA, 2002).

El medio alcalino degrada principalmente la lignina presente en las fibras vegetales, haciéndola soluble, provocando la separación de las fibrillas de celulosa (desfibrilación) que hasta entonces estaban unidas por la lignina. La separación de los filamentos puede estar asociada a otros procesos de degradación como la petrificación, que también puede

estar asociada a la pérdida de tenacidad del composite a largo plazo, y la degradación severa debido a los continuos cambios en el volumen de fibras vegetales dentro de la matriz cementera (AGOPYAN *et al.*, 2005).

La pérdida de resistencia de estos compuestos con el tiempo se debe, en parte, a la alcalinidad de la matriz. El agua presente en los poros es altamente alcalina, provocando la disolución de hemicelulosa y lignina y la hidrólisis alcalina de las moléculas de celulosa, reduciendo el grado de polimerización y resistencia de las fibras. Además, los productos de hidratación, especialmente el hidróxido de calcio, migran a las paredes, lúmenes y huecos de las fibras, provocando la mineralización de las fibras. Se han realizado modificaciones en las matrices, como la sustitución parcial del cemento por material puzolánico, para obtener una matriz libre de hidróxido de calcio (FIDELIS, 2014).

APARICIÓN DE MANIFESTACIONES PATOLÓGICAS

Las fibras naturales se utilizan, sobre todo, para minimizar la aparición de grietas causadas por la retracción plástica del hormigón. Esta retracción puede tener varias causas, entre ellas, destacan la temperatura, el viento y el calor de hidratación del cemento. La incorporación de fibras se utiliza normalmente en pisos rígidos, pisos industriales, diseñados, áreas de piscina, premoldeados, morteros, tanques y depósitos, entre otros.

En los compuestos a base de cemento, la mayor adhesión de la matriz de fibra se logra a través de un mejor rendimiento de la zona de transición, haciendo que las dos fases trabajen juntas de manera efectiva. La mejor adhesión se logra reduciendo la porosidad y por la menor concentración de portlandita (cristales de hidróxido de calcio) en las proximidades de la fibra. En el caso de las fibras vegetales, se observa que la alta porosidad favorece la formación de grandes cristales de portlandita, que no se forman en la superficie de la fibra, sino más bien dentro de la zona de transición. Los desprendimientos de las fibras son visibles y se producen como resultado de su variación dimensional, al perder el agua absorbida durante la mezcla del compuesto (SAVASTANO JUNIOR, 2000). Estos desprendimientos, de gran incidencia en composites con fibras vegetales, constituyen un factor adicional para perjudicar la adhesión entre las fases.

Por lo tanto, pueden surgir grietas en la interfaz fibra-matriz debido a la gran diferencia en el coeficiente de expansión térmica entre la capa de interfaz y la fibra, además del agua almacenada en las fibras que contribuye al desarrollo de tensiones en la zona de interfaz entre las fibras y la matriz debido a la variación dimensional de las fibras (LIMA *et al.* , 2019), como se muestra en la imagen 3a. La alta incidencia de poros capilares, combinada con la masa específica reducida y la alta absorción de agua, puede inducir una rápida carbonatación de la matriz, causando daños al hormigón armado, al permitir la aparición de corrosión del refuerzo. La imagen 3b muestra una micrografía con observación lateral de la cavidad entre la fibra y la matriz.

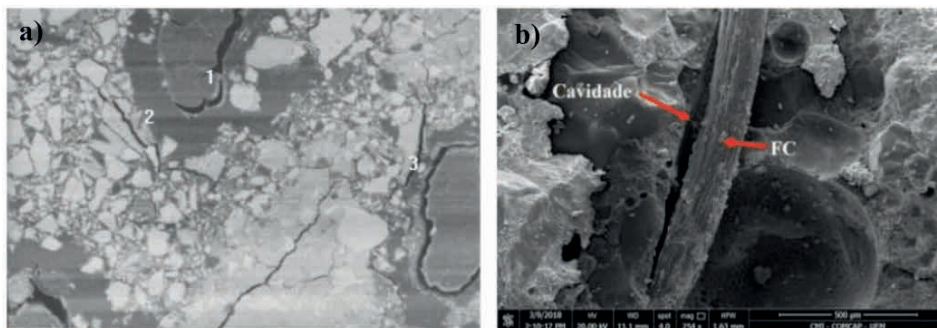



IMAGEN 3. Microestructura de composite cementoso con fibra vegetal, donde se observa en (a): (1) fibra desprendida de la matriz, (2) macrocristal de hidróxido de sodio y (3) microfisuras. Y en (b): cavidad entre fibra y matriz cementicia debido a una mala adherencia.

Fuente: Adaptado de Savastano Junior (20 00) y Capelin *et al.* (2020).

A través del ensayo de microscopía (SEM) realizado por Colonetti y Godinho (2017), fue posible visualizar indicaciones de vacíos alrededor de las fibras (Imagen 4), indicando la orosidad, lo que influye en la resistencia del hormigón y permite la entrada de agentes agresivos que causan manifestaciones patológicas y degradación.. Los poros visualizados en la microscopía mostraron que las fibras no tenían una interacción adecuada con la matriz cementicia, y pueden haber ocurrido debido a su degradación y expansión. Según Mehta y Monteiro (2014), si las fibras tienen poca adherencia con la matriz, pueden deslizarse bajo cargas bajas y no contribuyen mucho a reducir el agrietamiento del hormigón.

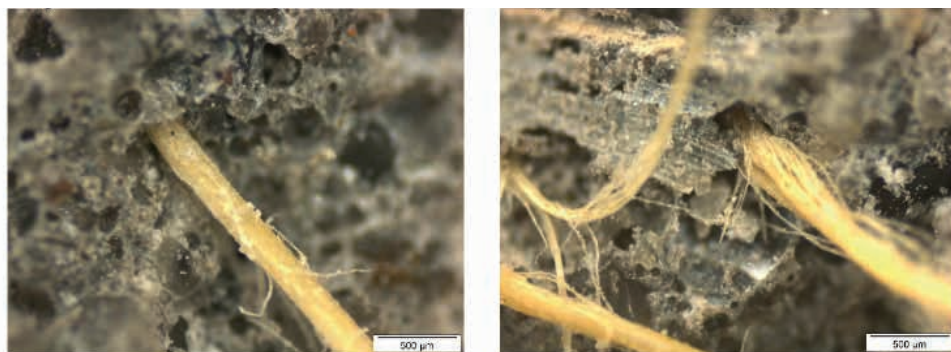



IMAGEN 4. Identificación de huecos en la zona de interacción fibra-matriz, que puede ser una de las causas de expansión de la fibra debido a su degradación.

Fuente: Colonetti y Godinho (2017).

Al analizar la composición química en las muestras por la prueba de difracción de rayos X (XRD) en muestras de concreto con incorporación de fibra vegetal (Imagen 5), Colonetti y Godinho (2017) pudieron observar además de los elementos comunes alconcreto, una

gran presencia de óxido de magnesio (MgO), que es uno de los componentes secundarios del clínker de Portland. La forma de cristalización de MgO que queda sin reaccionar en el clínker, a su vez, se llama periclasio. Mehta y Monteiro (2014) mencionan que el MgO cristalino, cuando está presente en cantidad expresiva en el cemento, hidrata y puede causar expansión y agrietamiento del concreto. Aunque los elementos encontrados son comunes a los del hormigón convencional, es posible notar que hubo un posibleataque alcalino sobre la lignina de las fibras durante las fases de hidratación del hormigón, ya que no fue tratado, causando expansiones y grietas.

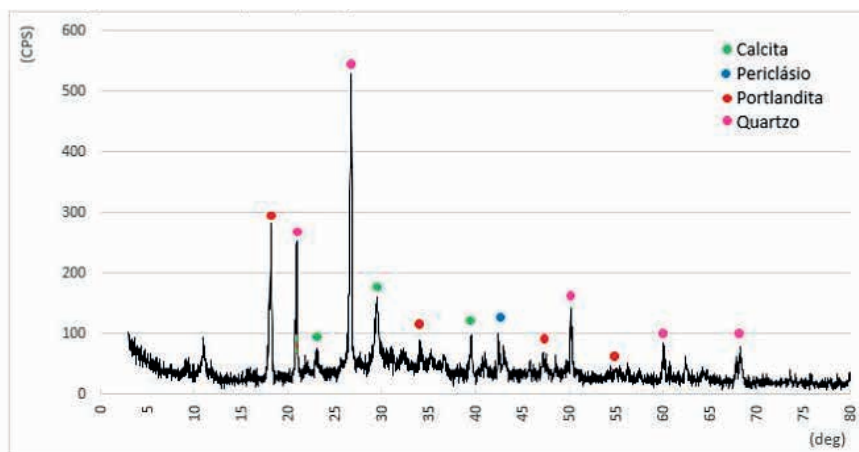



IMAGEN 5. Composición química por XRD de hormigón con incorporación de fibra vegetal.

Fuente: Colonetti y Godinho (2017).

APLICACIONES Y TRATAMIENTOS

Para desarrollar compuestos que tengan buenas propiedades físico-mecánicas es necesario mejorar la interfaz entre la matriz y el material lignocelulósico. Al mejorar la interfaz del compuesto, las propiedades de las fibras pueden mejorarse modificando sus componentes constituyentes a través de tratamientos químicos superficiales (LOPES *et al.*, 2011). Según un estudio realizado por Motta (2014), las modificaciones en la superficie de las fibras alteran propiedades como la adhesión y la absorción de humedad, y las modificaciones de los constituyentes estructurales alteran las propiedades de equilibrio, como la inestabilidad dimensional con la variación de la humedad.

Claramunt *et al.* (2011) realizó un estudio sobre la hornificación de fibras vegetales para mejorar la durabilidad de los compuestos cementicios. Los autores sometieron fibras de celulosa y pulpa de algodón a cuatro ciclos de humectación y secado y evaluaron el comportamiento mecánico de los compuestos producidos con estas fibras a través de pruebas de compresión y flexión. Los resultados indicaron que el tratamiento de las fibras

fue beneficioso en el comportamiento mecánico y la durabilidad de los compuestos. Los composites reforzados con fibras tratadas mostraron mayor resistencia a la flexión entre 8% (composites con pulpa de celulosa) y 16% (con fibra de algodón), que composites con fibras no tratadas.

Capelin *et al.* (2020) aborda los efectos de la fibra de coco en las propiedades de los morteros cementicios, y dichas fibras se trataron hirviendo, lavando con agua corriente y luego secándose al sol durante dos días. En consecuencia, este tratamiento tuvo una influencia directa en las características superficiales de las fibras, ya que eran superficialmente más compactas y rígidas. Sin embargo, experimentalmente fue posible probar que dicho tratamiento no fue efectivo para prevenir la degradación de las fibras en la matriz cementicia, porque se observó que había un debilitamiento en la zona de transición entre la fibra de coco y el mortero, causado por la baja efectividad del enlace fibra-matriz. En vista de esto, se pudo determinar que la adición de fibra de coco no contribuyó a la mejora de la resistencia a la compresión y también promovió la disminución del módulo de elasticidad. Sin embargo, en contraste, los ensayos mostraron que hubo una mejora significativa en la resistencia a la tracción cuando los morteros se someten a flexión.

En su investigación Silva *et al.* (2018) hizo una comparación de las propiedades resultantes en las pruebas de las muestras sin y con 10% de fibra de coco en relación con la masa de cemento Portland. Para evitar la degradación de estas fibras, al mezclarse con la matriz cementicia, se realizaron pruebas con diferentes tipos de tratamientos que implican el uso de materiales puzolánicos junto con látex natural. En primer lugar, se pudo comprobar que en los composites que presentan la fibra vegetal hay una disminución de la masa específica y un aumento del rendimiento termoacústico. Más específicamente, también se puede verificar que los ejemplares con fibras de coco tratadas con sílice activa en combinación con látex natural presentan un rendimiento más satisfactorio y una mayor durabilidad cuando se someten a envejecimiento acelerado y con respecto a la resistencia a la tracción en casos de flexión del compuesto. Se comprobó experimentalmente que con este tratamiento era posible reducir el proceso de degradación de las fibras y en consecuencia soportar un mayor esfuerzo mecánico.

En el trabajo de Lima *et al.* (2019) se puede observar la influencia que la fibra de sisal tiene sobre los compuestos cementosos bajo el efecto del envejecimiento acelerado, cuando se trata con material puzolánico. El experimento se resumió en la producción de dos compuestos laminados dosificados con cemento Portland y superplastificante a base de naftalina, donde uno tiene la adición de metakolinita y el otro no. El tratamiento de la fibra se centró en reemplazar un porcentaje del cemento con metacalinita, que tiene la propiedad de evitar la degradación de la fibra de sisal por mineralización cuando reacciona con el hidróxido de calcio presente en la matriz cementicia. Se comprobó a través de las pruebas que la metakolinita tiene la capacidad de consumir hidróxidos de calcio y que cuando se tiene en el compuesto un 40% de esta puzolana en la matriz no hay formación de ellos, lo

que puede provocar un exceso de metaolinita que es inerte en el compuesto generando el efecto de relleno. A continuación, se observa que la fibra de sisal no sufrió degradación relevante y continuó transfiriendo tensiones, sin embargo, se observó que la resistencia de inicio de agrietamiento sin y después del envejecimiento acelerado presenta mayores pérdidas de resistencia en comparación con el compuesto sin tratamiento. Además, se encontró que con los ciclos de envejecimiento acelerados el compuesto tratado sufrió choques térmicos, lo que resultó en microfisuras intensas, y como es menos resistente a la variación termohídrica también presentó grietas transversales y longitudinales.

La modificación química en la superficie de la fibra, utilizada en el buje vegetal, por el proceso de esterificación, reacción entre ácido carboxílico y alcohol, produciendo éster y agua, según la investigación de SOUZA *et al.* (2017) Se observa un aumento significativo de las propiedades físicas en las fibras modificadas y baja absorción en relación a la degradación de las mismas. El tratamiento utilizado en esta investigación se realizó con diferentes agentes como cloruro de lauroyl, cloruro de octanoilo y cloruro de estearoilo, e incluso variando algunas propiedades físicas, demostró ser una alternativa viable en el uso de fibras, destacando el procedimiento realizado con cloruro de octanoilo.

En la compatibilidad de las fibras con el cemento, según la investigación de Marques et al. (2016), con el proceso de lavado de las fibras de eucalipto, coco, cacao y baronesa, hubo una compatibilidad favorable para las fibras de eucalipto, coco y cacao y desfavorable para la fibra de baronesa, ya que esto no alteró la interacción con la matriz cementicia después del tratamiento. La técnica empleada se realizó mediante lavado con agua calentada a 90 ºC. Así, se concluyó que el tipo de fibra determina qué tipos de tratamiento son viables y favorables para su uso como refuerzo en composites.

Oliveira *et al.* (2020) llevó a cabo en su trabajo el tratamiento de fibra por absorción de agua, con el uso de agua en un alto grado de temperatura, aplicado a la fibra de *Ureana lobata Linn*. Este procedimiento comenzó con el secado de las fibras al aire libre y luego se lavó con agua corriente, y finalmente se colocó durante 24 horas en un horno a 40 ºC. Este método mostró una reducción en la absorción de agua de la fibra cuando se inserta en la matriz cementicia y una buena expectativa de durabilidad.

Otro tratamiento que resultó viable para la utilización de la fibra fueron las modificaciones en el proceso de curado del cemento, donde se deshidrató al vacío según la investigación de Urrea-Ceferino *et al.* (2019). Las fibras utilizadas en este estudio son de *Solombala pinus*. El compuesto cementicio se produce con la mezcla de cemento Portland, sílice molida y fibra de *Solombala pinus*, el proceso de curado se llevó a cabo cambiando la duración de la hidratación inicial, la exposición a la carbonatación y el envejecimiento acelerado.

CONSIDERACIONES FINALES/CONCLUSIONES

El hormigón reforzado con fibras vegetales es un hormigón único e innovador que puede ser utilizado como una alternativa viable al hormigón convencional para resolver los parámetros ambientales que les afectan. Este artículo aborda una revisión exhaustiva y conclusiones sobre los análisis de estudios actuales previos sobre laaparición de manifestaciones patológicas debido a la incorporación de fibras vegetales en compuestos de matriz cementicia, como hormigones y morteros. Según las investigaciones, se entendió que con la adición de fibras, se puede reducir el agrietamiento de la matriz, cuando se realiza un tratamiento adecuado, ya que las grietas están interconectadas por las fibras y, como resultado, hay un aumento en la tenacidad y resistencia a la tracción y al impacto. Por otro lado, este procedimiento tiene un alto grado de degradación cuando está presente en el medio alcalino de las matrices cementicias, por lo que requiere un tratamiento para ser utilizado como refuerzos de compuestos cementicios. Entre estos procesos de tratamiento se pueden mencionar la modificación superficial de la fibra, el lavado y los ajustes en el proceso de curación. Por lo tanto, se debe destacar la investigación en esta área para el uso efectivo de fibras vegetales en compuestos cementicios, compuestos de cemento Portland. A partir de esto, servirán de base para futuros estudios, siendo vital ampliar las buenas prácticas de sostenibilidad y durabilidad en la construcción civil.

REFERENCIAS

AGOPYAN, V.; SAVASTANO JUNIOR, H.; JUAN, V. M.; CINCOTTO, M. A. Desarrollos sobre materiales a base de fibra vegetal-cemento en São Paulo, Brasil: Una visión general. **Cement and Concrete Composites**, v. 27, p. 527–536, 2005.

ARDANUY, M.; CLARAMUNT, J.; GARCÍA-HORTAL, J. A.; BARRA, M. Interacciones fibra-matriz en compuestos de mortero de cemento reforzados con fibras celulósicas. **Celulosa**, v. 18, pp. 281–289, 2011.

CAPELÁN, L. J.; MORAES, K. K.; ZAMPIERI, J. P.; VANDERLEI, R. D. Evaluación de los efectos de la fibra de coco y la microcelulosa cristalina sobre las propiedades de los morteros cementosos. **Revista Matter**, v. 25, n. 1, 2020.

CLARAMUNT, J.; ARDANUY, M.; GARCÍA-HORTAL, J. A.; TOLEDO FILHO, R. D. La hornificación de fibras vegetales para mejorar la durabilidad de los composites de mortero de cemento. **Compuestos de cemento y hormigón**, v. 33, pp. 586–595, 2011.

COLONETTI, L. M.; GODINHO, D. S. S. Estudio del efecto de la adición de fibras de sisal sobre las propiedades del hormigón. **Trabajo final** (Ingeniería Civil) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Santa Catarina, 2017.

DITTENBER, D. B.; GANGARAO, H. V. S. Revisión crítica de publicaciones recientes sobre el uso de compuestos naturales en infraestructura. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 43, n. 8, p. 1419-1429, agosto de 2012.

FIDELIS, M. E. A. Desarrollo y caracterización mecánica de composites textiles cementosos reforzados con fibras de yute. **Tesis** (Doctorado en Ingeniería Civil) – Programa de Posgrado en Ingeniería Civil, Universidad Federal de Río de Janeiro, Río de Janeiro, 2014.

LEMOS, A. M.; FRENDENBERG, F. C. Estudio del uso de fibra de coco en vigas de hormigón. **Ciencias de la Ingeniería**, v. 7, n. 2, p. 1-8, 2019.

LIMA, P. R. L.; TOLEDO HIJO, R. D.; NEUMANN, R.; BARROS, J. A. O. Efecto del envejecimiento acelerado sobre las propiedades del microhormigón reforzado con fibras largas de sisal. **Entorno construido**, v. 19, n. 1, enero / marzo 2019.

LOPES, F. F. M.; ARAÚJO, G. T.; LUNA, S.; NACIMIENTO, J. W. B.; SILVA, V. R. Modificación de las propiedades de las fibras de curauá por acetilación. **Revista Brasileña de Ingeniería Agrícola y Ambiental**, v. 15, n. 3, p. 316-321, 2011.

MARQUES, M. L.; LUZARDO, F. H. M.; VELASCO, F. G.; GONZÁLEZ, L. N.; SMITH, E. J.; LIMA, W. G. Compatibilidad de las fibras vegetales con el cemento Portland y su relación con las propiedades físicas. **Revista Brasileña de Ingeniería Agrícola y Ambiental**, v. 20, n. 5, p. 466-472, 2016.

MEDEIROS, A. Estudio del comportamiento a fatiga en compresión de hormigón con fibras. **Tesis** (Doctorado en Ingeniería Civil) – Pontificia Universidad Católica de Río de Janeiro, Río de Janeiro, 2012.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Hormigón: microestructura, propiedades y materiales**. 2 ed. São Paulo: IBRACON, 2014. 751 págs.

MOTTA, L. C. Mejora del rendimiento de las fibras de coco y sisal para el refuerzo de matrices cementicias mediante tratamiento termomecánico e impregnación de resinas. **Tesis** (Doctorado en Ingeniería Civil) – Escuela Politécnica de la Universidad de São Paulo, São Paulo, 2014.

OLIVEIRA, A. M.; OLIVEIRA, A. L. B.; SMITH, J. L.; MARQUES, M. G. S.; VASCONCELOS, R. V.; OLIVEIRA, D. R. C. Influencia de los tratamientos superficiales en la absorción de agua y resistencia a la tracción de las fibras vegetales de *Ureana lobata Linn*. **Tecnia**, v. 5, n.1, 2020.

OLIVEIRA, M. S. Desarrollo y caracterización de baldosas cementicias reforzadas con tejido de fibras vegetales de la Amazonía. **Disertación** (Maestría en Ingeniería Civil) – Programa de Posgrado en Ingeniería Civil, Universidad Federal de Amazonas, Amazonas, 2017.

SAVASTANO JUNIOR, H. Materiales a base de cemento reforzados con fibra vegetal: reciclaje de residuos para construcción de bajo costo. **Tesis** (Doctorado en Ingeniería Civil) – Escuela Politécnica de la Universidad de São Paulo, São Paulo, 2000.

SILVA, A. C. Estudio de la durabilidad de composites reforzados con fibras de celulosa. **Disertación** (Maestría en Ingeniería Civil) – Departamento de Ingeniería Civil de la Construcción, Escuela Politécnica de la Universidad de São Paulo, São Paulo, 2002.

SMITH, E. J.; VELASCO, F. G.; LUZARDO, F. M.; MARQUES, M. L.; MILIAN, F. M. RODRIGUES, L. B. Compuesto cementicio con alto contenido de fibra de coco tratada: propiedades físicas y durabilidad. **Revista Matéria**, v. 23, n. 3, 2018.

SOUZA, J. D. G. T.; MOTTA, L. A. C.; PASQUINI, D.; VIEIRA, J. G.; PIRES, C. Modificación química superficial de fibras de buje vegetal con el objetivo de compatibilidad y aplicación como refuerzo en matriz cementicia. **Built Environment**, v. 17, n. 2, p. 269-283, abr/jun 2017.

URREA-CEFERINO, G. E.; PANESAR, D. K.; SAVASTANO JUNIOR, H. Ajuste de los parámetros de curado para compuestos de fibrocemento vegetal innovadores y duraderos. **Compuestos de cemento y hormigón**, v. 103, p. 121-133, 2019.

CAPÍTULO 6

CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL EN INSTITUCIONES DE EDUCACIÓN PÚBLICAS O PRIVADAS

Data de submissão: 10/05/2023 *Data de aceite: 02/06/2023*

Alfonso Jorge Quevedo Martínez.
Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco. Departamento de Administración, Área de Matemáticas y Sistemas
Alcaldía Azcapotzalco, Ciudad de México.

Martín Hernández Hernández.
Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco. Departamento de Administración, Área de Matemáticas y Sistemas
Alcaldía Azcapotzalco, Ciudad de México.

Esiquio Martin Gutiérrez Armenta.
Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco. Departamento de Sistemas
Alcaldía Azcapotzalco, Ciudad de México.

Marco Antonio Gutiérrez Villegas.
Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco. Departamento de Sistemas
Alcaldía Azcapotzalco, Ciudad de México.

Israel Isaac Gutiérrez Villegas.
Instituto Politécnico Nacional
Unidad Profesional “Adolfo López Mateos”
Col. San Pedro Zacatenco Del, Nueva Industrial Vallejo, Gustavo A. Madero, Ciudad de México

RESUMEN: La falta de agua potable en el país a causa de las sequias más frecuentes cada vez, se ha agudizado de una manera alarmante a nivel mundial por lo que es necesario abordar esta problemática desarrollando proyectos que permitan aprovechar las temporadas de lluvias, con el fin de ayudar a solucionar esta situación se propone el siguiente proyecto de captación de agua pluvial en cualquier Institución de Educación del país, que en el área de sus edificios o construcciones permitan la captación del agua de lluvia, creando cisternas que permitan el almacenamiento y utilización de está para las necesidades básicas de las comunidades que conforman las instituciones educativas con el fin de hacer sustentable dichas instituciones. Para tal motivo es recomendable que las áreas de los edificios con los que cuenten las instituciones públicas o privadas de educación tengan conectividad entre techos dirigidos a cisternas de recolección para lo cual es necesario acondicionar los mismos de tal manera que por gravedad el agua fluya mediante tuberías hacia dichas cisternas, que deben contar con filtros que permitan la retención de las impurezas que puedan existir en las áreas de captación de tal forma que llegue a los depósitos lo más

limpia posible y ahorrar en el tratamiento del vital líquido, de manera que el agua se disponga para riego de áreas verdes en las instalaciones del cetro educativo, limpieza de sanitarios y/o en ser tratada para el consumo humano apoyándose de una purificadora de agua para ofrecer el llenado de, garrafones para la comunidad. Es importante señalar que se propone la cooperación de la comunidad que conforma a las instituciones a participar y contribuir al cuidado y mantenimiento de las instalaciones. Además de una campaña/programa de educación ambiental para informar a la comunidad de la problemática y el proyecto que se propone. Al ser creada como un área sustentable es importante la intervención de las diferentes instancias gubernamentales, así como la comunidad que se asiente en dichos espacios.
PALABRAS CLAVE: captación, pluvial, riego, purificación.

RAINWATER HARVESTING IN PUBLIC OR PRIVATE EDUCATIONAL INSTITUTIONS

ABSTRACT: The lack of drinking water in the country due to the most frequent droughts every time, has worsened in an alarming way worldwide so it is necessary to address this problem by developing projects that allow taking advantage of the rainy seasons, in order to help solve this situation the following project of rainwater collection is proposed in any Educational Institution of the country, that in the area of their buildings or constructions allow the capture of rainwater, creating cisterns that allow the storage and use of it for the basic needs of the communities that make up the educational institutions in order to make these institutions sustainable. For this reason, it is recommended that the areas of the buildings that public or private educational institutions have connectivity between roofs directed to collection cisterns for which it is necessary to condition them in such a way that by gravity the water flows through pipes to said cisterns, which must have filters that allow the retention of impurities that may exist in the catchment areas. in such a way that it reaches the tanks as clean as possible and save on the treatment of the vital liquid, so that the water is available for irrigation of green areas in the facilities of the educational scepter, cleaning of toilets and / or in being treated for human consumption relying on a water purifier to offer the filling of, Jugs for the community. It is important to note that the cooperation of the community that makes up the institutions to participate and contribute to the care and maintenance of the facilities is proposed. In addition to an environmental education campaign / program to inform the community of the problem and the proposed project. Being created as a sustainable area, the intervention of the different government agencies is important, as well as the community that settles in these spaces.
KEYWORDS: catchment, rainwater, irrigation, purification.

INTRODUCCIÓN

Ante problema por escasez de agua a lo largo de la CDMX, así como en sus alrededores que pertenecen al Estado de México, los precios elevados por una pipa de agua son considerables para la gente de bajos recursos, ante el crecimiento que se ha sufrido a lo largo de estos años es cada vez más difícil poder proporcionar los servicios adecuados a toda la población, ante esto las personas se han llegado a quejar y uno de los

sectores más perjudicados es el abastecimiento de agua potable, debido que este servicio se llega a darse ciertos días de la semana o en los mejores casos a ciertas horas del día.

Se ha propuesto el uso de agua pluvial de la cual gran parte de la población tiene contacto, dando a lugar una manera eficiente de su uso, para ello se propone un sistema de captación y almacenamiento. Dando una manera alternativa de la cual la población saldría beneficiada, esta se almacenaría para usarla para riego de áreas verdes, sanitario o lavado de pisos e incluso a un tratamiento para su potabilización.

METODOLOGÍA O DESARROLLO

Para afrontar la problemática del agua a nivel mundial y nacional, una de las alternativas es la captación de agua de lluvia.

Los sistemas de captación para aprovechar el agua pluvial para su uso en las instituciones educativas representan una solución para abastecer en cantidad y calidad a la numerosa población que conforman a las instituciones públicas y privadas de educación, en ciudades tan grandes como lo es la ciudad de México y su área conurbada que sufren la carencia de este vital líquido.

Considerando lo anterior es urgente, que cada ser viviente en este planeta disponga de agua en cantidad y calidad con el objeto de lograr el verdadero Desarrollo Sustentable de la humanidad.

La precipitación pluvial representa un valioso recurso natural que se debe aprovechar, esta es una de las opciones más reales para proporcionar agua a aquellos que no cuentan con este recurso. Es posible establecer sistemas de captación de agua de lluvia para uso doméstico a nivel de familia y comunidad, por lo cual consideramos que las instituciones educativas pueden ser el marco de referencia y ejemplo para que se lleve a cabo.

El marco institucional la normatividad para la ejecución del proyecto.

La normatividad para la adaptación de la estructura y techado con que cuentan las escuelas en México tienen la característica de estar intercomunicadas como ejemplo usaremos un mapa de la unidad Azcapotzalco de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM-AZC.), la cual cuenta con cuatro cisternas lo que nos permitirá ahorrar en el gasto que eso significaría si se tuviera que hacer desde cero, para el uso del agua en los WC dentro de las instalaciones, no existe problema en cuanto a normatividad en legislación, ya que la captación de agua de lluvia está permitida, bajo las normas adecuadas de seguridad, el uso de suelo, ningún impedimento para la elaboración del proyecto. Solamente se deberán tomar medidas necesarias para los permisos de la alcaldía donde se encuentran ubicadas las instalaciones de la UAM-AZC, para comenzar con las modificaciones necesarias en el área designada para este proyecto quedaran expuestas en este documento.

En México existen una serie de normas que regulan la calidad que debe tener el agua para su consumo, así como su uso, los límites de contaminantes permisibles están

regidas por estas normas. Aunque cada vez hay un mayor interés por la captación de agua de lluvia para su reúso todavía no hay una normativa que avale e incentive esta práctica, para llevarla a cabo el proyecto. para la gestión, el reúso del agua de lluvia se debe tener en cuenta las siguientes normas [1-2].

En la Actualidad muchas poblaciones urbanas carecen de agua potable, para esto es necesario entonces, adoptar medidas alternativas que permitan la sostenibilidad del recurso, conociendo técnicas de aprovechamiento de aguas de lluvias es parte fundamental para lograr este propósito.

El aprovechamiento de agua lluvia, en la práctica es fácil de implementar, que permite disminuir los consumos de agua potable, logrando así, una reducción en los gastos por dichos consumos, dando uso eficiente al recurso, de manera que aquellos sistemas en los cuales el agua potable no es suficiente puedan ser abastecidos por el agua de lluvia.

Se presenta los componentes del sistema, el análisis de la información pluviométrica también los cálculos realizados para el diseño del sistema de aprovechamiento.

La captación es la superficie destinada para la recolección del agua. La mayoría de los sistemas utilizan los techos, los cuales deben tener una pendiente adecuada (no inferior al 5%) de su superficie, que son las modificaciones que debemos realizar con el fin de que faciliten el escurrimiento hacia el sistema de recolección. como se muestra en la Fig. (1), la cual muestra la disposición de los edificios en la UAM-AZC, y por otro lado un bosquejo de lo que se debe hacer.

Los materiales empleados para los techos pueden ser las láminas de acero, madera, cemento, entre otros. Los techos de cemento y de lámina son los más comunes debido a su durabilidad, el precio relativamente bajo, puede proveer agua de buena calidad; los que tienen compuestos de asfalto, amianto o los que están pintados se recomienda utilizarlos sólo cuando el agua captada no es para consumo humano, ya que pueden lixiviar materiales tóxicos en esta.

Fuente: https://mir-s3-cdn-cf.behance.net/project_modules/fs/91391833169001.56a23935bf977.jpg

Fuente: The Texas Manual on Rainwater Harvesting. Texas Water Development Board. 2005

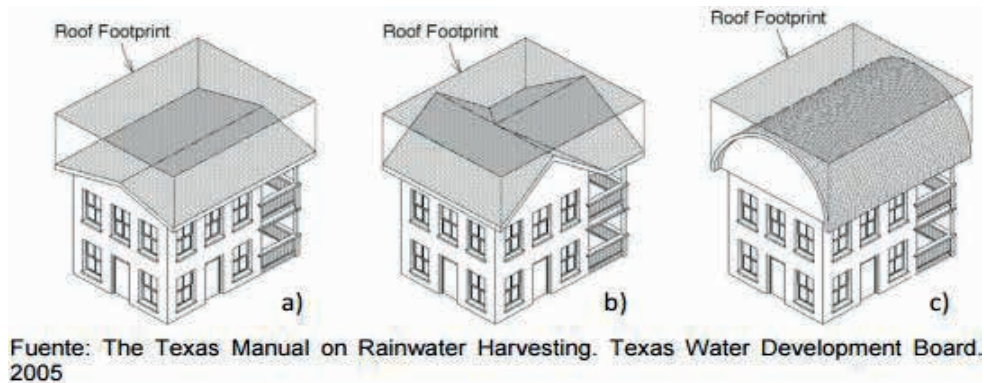



Figura 1.- Disposición del área de captación e Inclinación respectiva al techo.

Recolección y conducción. Es el conjunto de canaletas adosadas en los bordes más bajos del techo, con el objeto de recolectar el agua además de conducirla hasta el sitio deseado. Las canaletas se deben instalar con una pendiente no muy grande que permitan la conducción hasta los bajantes. El material de las canaletas debe ser liviano, resistente al agua, fácil de unir entre sí, a fin de reducir las fugas. Para tal objetivo se pueden emplear materiales como la madera, el metal o el PVC. Se recomienda que el ancho mínimo de la canaleta sea de 75mm y el máximo de 150mm.

En la Fig. (2). Se muestran algunos ejemplos de lo que existe en el mercado.

Fuente: Captación de agua de lluvia como alternativa para afrontar la escasez del recurso. Manual de capacitación para la participación comunitaria. Floriana Hernández Martínez.

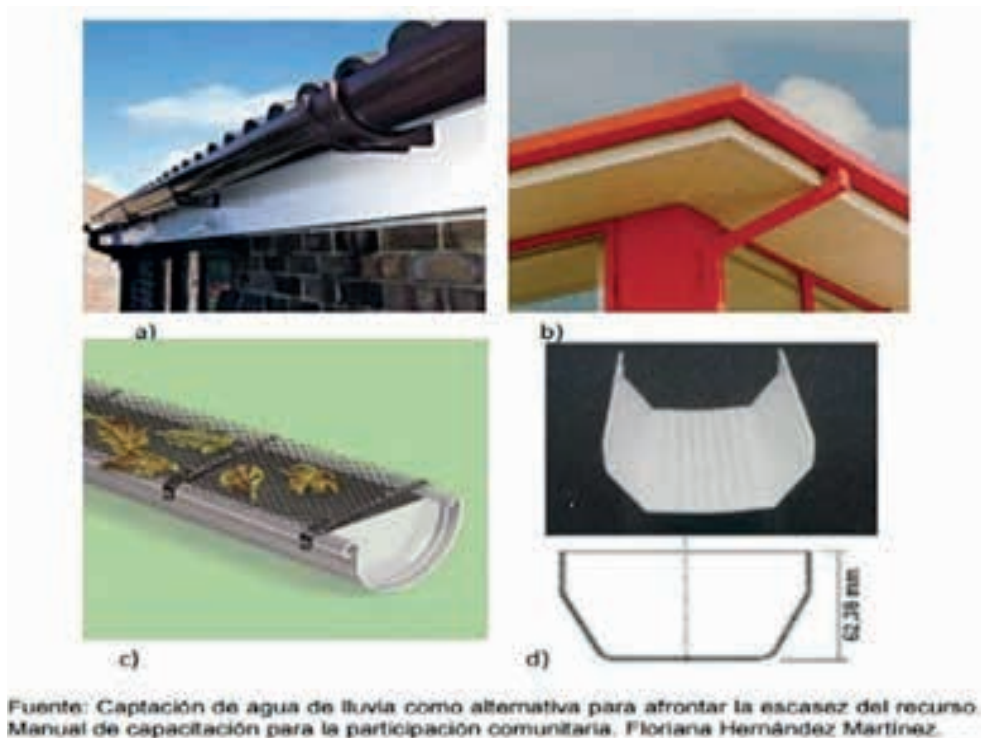



Figura 2.- Muestra el diseño

Interceptor es el dispositivo dirigido a captar las primeras aguas de las lluvias correspondientes al lavado del área de captación como un primer filtro, con el fin de evitar el almacenamiento de aguas con gran cantidad de impurezas. Este dispositivo se debe tener en cuenta el volumen de agua requerido para lavar el techo que se estima en 1 litro por m^2 de techo. Este consta de un tanque, al cual entra el agua por medio de los bajantes unidos a las canaletas. Este se debe contar a una válvula de flotador que permita su llenado, cuando alcance el nivel deseado, la válvula impedirá el paso del agua hacia el receptor, esta se dirigirá hacia el tanque de almacenamiento. Adicionalmente debe tener una válvula de purga en la parte inferior del tanque para hacer el mantenimiento después de cada lluvia ver las Figuras. (3).

Fuente: Captación de agua de lluvia como alternativa para afrontar la escasez del recurso. Manual de capacitación para la participación comunitaria. Floriana Hernández Martinez.

Fuente: https://www.sonproject.net/2021/08/cisterna-de-agua-para-casas-escuelas-hospitales-tipos-y-calculo.html

Fuente: https://www.milenio.com/sociedad/cuanto-cuesta-una-cisterna-en-pachuca

Figuras 3.- Captador de agua.

Almacenamiento. Es el depósito destinado para la acumulación, conservación y

abastecimiento del agua para los diferentes usos. La unidad de almacenamiento debe ser duradera, debe cumplir con las especificaciones siguientes:

- Impermeable para evitar la pérdida de agua por goteo o transpiración
- Con tapa para impedir el ingreso de polvo, insectos y de la luz solar
- Disponer de una escotilla con tapa lo suficientemente grande para que permita el ingreso de una persona para la limpieza y reparaciones necesarias
- La entrada y el rebose deben contar con mallas para evitar el ingreso de insectos y animales
- Dotado de dispositivos para el retiro de agua y el drenaje.

Los tipos de tanques de almacenamiento pueden ser construidos con los siguientes materiales:

- Mampostería para volúmenes menores (100 a 500 Litros)
- Ferrocemento para cualquier volumen.
- Concreto reforzado para cualquier volumen.

Red de Distribución de Agua de Lluvia y Sistema de Bombeo. Esta debe ir paralela a la red de acueducto, llegando a los puntos hidráulicos donde se utilizará, así que deberá protegerse la red de suministro de agua potable con una válvula de cheque para evitar que se mezcle con el agua potable. El sistema de bombeo distribuirá el agua almacenada los sanitarios requeridos. la tubería de succión de la bomba debe estar al menos 50cm por encima del fondo del tanque para evitar el arrastre de sedimentado.

Bases del diseño**.** Antes de emprender el diseño de un sistema de captación de agua pluvial, es necesario tener en cuenta lo siguientes:

Precipitación en la zona. Se debe conocer los datos pluviométricos de por lo menos los últimos 10 años, e idealmente de los últimos 15 años. Tipo de material del que está o va a estar construida la superficie de captación, número de personas beneficiadas y Demanda de agua.

Criterios de diseño**.** Este método conocido como: “Cálculo del Volumen del Tanque de Almacenamiento” toma como base de datos la de precipitación durante el intervalo de 10 a 15 de los últimos años. Mediante este cálculo se determina la cantidad de agua que es capaz de recolectarse por metro cuadrado de superficie del techo de esta manera se determina:

el área de techo necesaria y la capacidad del tanque de almacenamiento, el volumen de agua, la capacidad del tanque para una determinada área de techo. Los datos complementarios para el diseño son:

Número de usuarios, Coeficiente de escorrentía; - calamina metálica 0.9 - tejas de arcilla 0.8 - 0.9 - madera 0.8 - 0.9 - paja 0.6 - 0.7

Demanda de agua. Los pasos para seguir el diseño del sistema de captación de

son:

Determinación de la precipitación promedio a partir de los datos de los últimos 10 ó 15 años evaluados en tiempo de lluvia. Este valor puede ser expresado en mm/mes, litros/ m2 /mes, capaz de ser recolectado en la superficie horizontal del techo.

$$P_{p_i} = \frac{\sum_{i=1}^{n} p_i}{n} \qquad (1)$$

Donde n: número de años evaluados, p_i: valor de precipitación mensual del mes "i", (mm), p_{p_i} : precipitación promedio mensual del mes "i" de todos los años evaluados. (mm/ mes)

Determinación de la demanda; a partir de la dotación asumida por persona se calcula la cantidad de agua necesaria para atender las necesidades de la familia o familias a ser beneficiadas en cada uno de los meses.

$$D_i = \frac{N_u \, x N_d \, x D_{ot}}{1000} \quad (2)$$

Donde N_u: número de usuarios que se benefician del sistema, N_d: número de días del mes analizado D_{ot}: dotación (Litros/persona x día), D_i: demanda mensual en m^3

Determinación del volumen del tanque de abastecimiento, para esto se utiliza la Ec. (3)

$$A_i = \frac{P_{p_i} x C_e x A_c}{1000} \quad (3)$$

P_{p_i} : precipitación promedio mensual (litros/m^2), C_e: coeficiente de escorrentía,

A_c : área de captación en m^2

A_i: Oferta de agua en el mes "i" en m^3

Teniendo en cuenta los valores obtenidos para la demanda mensual de agua, se calcular el acumulado de cada uno de ellos por mes iniciando por el mes de mayor precipitación. Se procede a calcular la diferencia de los valores acumulados de oferta y demanda de cada uno de los meses.

Las áreas de techo que conduzcan a diferencias acumulativas negativas en alguno de los meses del año se descartan por qué no son capaces de captar la cantidad de agua demandada por los interesados.

El área mínima de techo corresponde al análisis que proporciona una diferencia acumulativa próxima a cero, el volumen de almacenamiento corresponde a la mayor diferencia acumulativa. Áreas de techo mayor al mínimo darán mayor seguridad para el abastecimiento de los interesados.

El acumulado de la oferta y la demanda en el mes "i" podrá determinarse por la Ec.(4), Ec.(5).

$$A_{a_i} = A_{a(i-1)} + \frac{P_{p_i} x C_e x A_c}{1000} \qquad (4)$$

$$D_{a_i} = D_{a(i-1)} + \frac{N_u x N_{d_i} x D_{d_i}}{1000} \qquad (5)$$

Aa_i: oferta acumulada al mes “i”, Da_i demanda acumulada al mes “i”.

$$V_i(m^3) = A_i\,(m^3) - D_i\,(m^3) \qquad (6)$$

V_i : volumen del tanque de almacenamiento necesario para el mes “i”, A_i volumen de agua que se captó en el mes “i”, D_i volumen de agua demandada por los usuarios para el mes “i”.

Socialmente la Unidad Azcapotzalco se encuentra en una zona de alta demanda, por lo cual se pretende hacer mejoras con la propuesta de este proyecto para ejemplificar las ventajas de la captación de agua, se dará asesoría e información a la ciudadanía sobre cuidado y conservación del medio ambiente.

Relación con otras iniciativas. A la falta de agua en la CDMX, se prevé que como medida alterna se utilice el agua de lluvia para su uso doméstico, dando a lugar que se cree conciencia a el cuidado del medio ambiente, utilizando calentadores solares las celdas fotovoltaicas que disminuyen el consumo de electricidad provista por CFE. Así como tratamiento de aguas residuales el cual da un reusó de agua para uso en baños, para limpiar pisos o regar plantas.

El proyecto consiste en la modificación de los techos con una cubierta metálica o techo armado con estructura de metálica, ubicada en la colonia Nueva El Rosario Alcaldía Azcapotzalco, C.P. 02128, Ciudad de México, en las instalaciones de la UAM-AZC, las cuales se dirigirán hacia las cisternas con las que cuenta la Universidad, cuya estructura tiene la ventaja de tener una altura aproximada de entre 12 y 15 metros lo que genera una caída del líquido que se podrá emplear para otro proyecto como lo es la generación de energía eléctrica que se tratara en otra ocasión.

La modificación a los techos contara con una pendiente del 26% y al centro de los coptadores de agua para el primer filtro.

En las orillas del techado se colocarán canaletas de PVC con una inclinación de 15° las cuales redirigirán el flujo del agua captada a la cisterna; se espera que por cada metro cuadrado de techo se colecte 225 Litros/m²/día, antes de entrar a la cisterna pasara por filtros, los cuales se describen en el siguiente punto.

Separador de solidos grandes. Con base en la evaluación de la calidad de agua de lluvia obtenida, primero que se propone retirar los sólidos más grandes, entre los que se destacan las hojas, piedras, ramas, insectos y otros materiales que pueden estar presentes arrastrados por el agua. Se utilizará un separador de sólidos modelo “b”, evaluado, que consta de una rejilla metálica de 1 mm de abertura, dispuesta en forma cilíndrica dentro de una te de PVC de 4” para áreas de hasta 100 m² y una te de 6” para áreas de captación superiores. Para mejorar su eficiencia de aprovechamiento se propone colocarle un tapón

comercial para PVC que evite el desperdicio de agua a la vez que permita la limpieza y mantenimiento como se muestra en la Figura. (4).

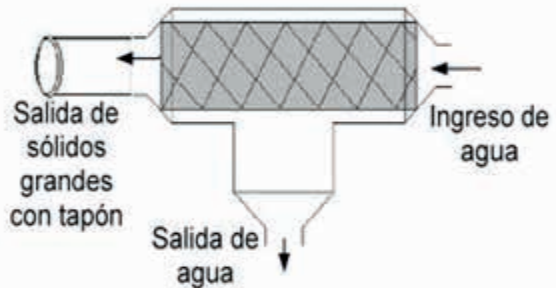



Figura 4.- Dispositivo de Separador de solidos grandes.

Separador de primera lluvia**.** La evaluando cualitativamente varios modelos de filtros de separador de la primera lluvia donde el más indicado para áreas de captación superiores a 50m² fue el modelo propuesto por Isla Urbana. En la Figura. (5) se observa una mejora a dicho modelo, cambiando el arreglo interno por un codo de 90 ° integrando una "T" de PVC para reducir la fuerza del chorro sobre la pelota que genera mezcla del agua separada con la que se va a aprovechar. En la Figura. (5) se realizó una mejora en el proceso.

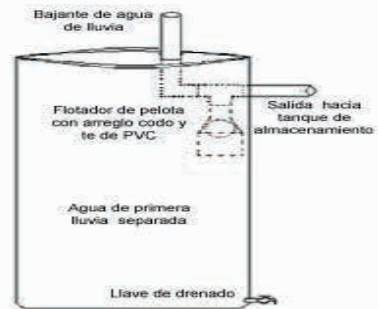



Figura 5.- muestra mejora en el modelo

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Uno de los mayores resultados del proyecto es la gran contribución que se obtiene de la captación de agua pluvial ya que se está dando un mejor uso y funcionamiento de un recurso natural que se desperdicia en temporada de lluvias, en conjunto con las nuevas modificaciones que se colocaran en la UAM-AZC, se pretende abastecer a la institución, Solo una parte ínfima del agua de lluvia es utilizada y de acuerdo a los especialistas, se podría reducir el rezago en abastecimiento de agua en el país si se aprovecharan los

métodos de captación y gestión del agua de lluvia. Si se captara toda la lluvia en los techos y en algunos suelos, se podría ahorrar de 10% a 15% del agua que se consume en las instituciones educativas, así como en hogares que adopten el sistema. Si se aprovechara el 3% de la lluvia que cae cada año en el país, alcanzaría para suministrar de agua no potable para usos como limpieza o sanitarios, además de poder llevarlo a un proceso de potabilización más adelante.

CONCLUSIONES

Promover a la ciudadanía la Captación de agua de lluvia, optimizar el aprovechamiento de esta se utilizará para sanitario, en las áreas deportivas, riego de vegetación, se debe de actualizar las normas de construcción para que se incluya un sistema de captación de agua de lluvia obligatoria ya sea doméstica, industrial, comercial y residencial.

NOMENCLATURA

A área, m^2
PVC policloruro de vinilo
CDMX ciudad de México
V volumen m^3

REFERENCIAS

[1] NOM-003-SEMARNAT: exponte el límite de contaminantes en aguas residuales tratadas para reúso. NORMA Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.

[2] NOM-127-SSA1: especifica la calidad que debe tener el agua potable. NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-1994, "SALUD AMBIENTAL, AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO-LIMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA SU POTABILIZACION".

[3] Prospectiva de Energías Renovables. (2012). https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/62954/Prospectiva_de_Energ_as_Renovables_2012-2026.pdf

[4] Estadísticas del Agua en México. (2010). Edición 2010 Comisión Nacional del Agua, " 10 años de presentar el agua en cifras", SEMARNAT. http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/EAM2010_Espanol_16Junio2010.pdf

[5] Sistemas de Captación de Agua de Lluvia. (2014). Impluvium. Periódico digital de divulgación de la red de agua UNAM Numero 1. http://www.agua.unam.mx/assets/pdfs/impluvium/numero01.pdf

[6] Lista de precios Nacobre. (2016). http://www.nacobre.com.mx/productos/listaPrecios.jsp

[7] Lista de precios B &K , Mueller Comercial de México S. de R.L. de C.V. (2020) https://www.bkmexico.mx/

[8] Lista de precios Rotoplas todo para instalación hidráulica. (2020). https://rotoplas.com.mx/productos/02_Conduccion/01%20Tuboplus%20hidraulico/ROTtubo_CatalogoTuboplus_Web.pdf

CAPÍTULO 7

CONFECCIÓN DE UNA HERRAMIENTA PARA DIAGNOSTICAR EL PROCESO DE DESARROLLO DE PRODUCTOS

Data de aceite: 02/06/2023

Germán Rossetti
Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Litoral

Melisa De Greef
Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Litoral

RESUMEN: Las organizaciones que poseen su Proceso de Desarrollo de Productos (PDP) sistematizado se benefician debido a que la estructuración de la Gestión del PDP trae aparejado ventajas significativas, ya que mejora la comprensión de las necesidades del cliente en las fases iniciales del desarrollo, facilitando el control de los costos, calidad y tiempos. En lo que respecta a empresas del sector metalmecánico, a través de observaciones y análisis preliminares, se puede concluir que muchas empresas presentan prácticas no sistematizadas relacionadas al PDP, y en los casos en que se observa algún grado de formalización, no existe el hábito de registrar ni sistematizar el PDP; así como también presentan desconocimiento de herramientas del PDP y de la Gestión de Proyectos. Esta realidad genera que las empresas utilicen recursos de forma ineficiente. En el presente trabajo, se diseña una herramienta de diagnóstico del PDP, para empresas pertenecientes al sector metalmecánico. Para su elaboración, se recurrió, por un lado, a un relevamiento bibliográfico en relación a modelos de Gestión del PDP y a definiciones de Niveles de Madurez, y por el otro, a la experiencia de los autores de este trabajo en otros sectores productivos, aportando la definición de variables, subvariables y categorías de análisis que permiten diagnosticar el Nivel de Madurez en el PDP de las empresas (Básico, Intermedio y Avanzado). A partir de la bibliografía analizada, se adaptó el instrumento de diagnóstico elaborado por los autores al sector metalmecánico. Futuros trabajos abordarán su aplicación en empresas metalmecánicas de la región Litoral.

PALABRAS CLAVE: Empresas Metalmecánicas – Proceso de desarrollo de productos – Herramienta – Diagnóstico.

ABSTRACT: Organizations that have their Product Development Process (PDP) systematized are benefited because the structuring of the PDP Management brings significant advantages, since it improves the understanding of the client's needs in

the initial phases of development, facilitating costs, quality and time control. Regarding to metalworking sector, through preliminary observations and analysis, it can be concluded that many companies have non-systematized practices related to the PDP, and in cases where some degree of formalization is observed, there is no habit of register or systematize the PDP; as well as they present ignorance of PDP tools and Project Management. This reality causes companies to use resources inefficiently. In this paper, a diagnostic methodology is designed in relation to the PDP, for companies in the metalworking sector. For its elaboration, on one hand, a bibliographic survey was used in relation to PDP Management models and definitions of Maturity Levels, and on the other, the experience of the authors of this work in other productive sectors, contributing the definition of variables, sub variables and analysis categories that allow diagnosing the Maturity Level in the PDP of the companies (Basic, Intermediate and Advanced). From the analyzed bibliography, the diagnostic instrument developed by the authors was adapted to the metalworking sector. Future works will address the application of the tool in a group of metalworking companies of Litoral region.
KEYWORDS: Metalworking Companies - Product development process - Tool- Diagnosis.

1 I INTRODUCCIÓN

El análisis del Proceso de Desarrollo de Productos (PDP) es de suma importancia para las empresas, especialmente para organizaciones donde el desarrollo tiene características particulares (por ejemplo, empresas metalmecánicas que desarrollan productos a pedido).

La bibliografía disponible presenta modelos que orientan el desarrollo, define niveles de madurez, propone herramientas para mejorar la gestión del PDP, pero se han encontrado pocos trabajos que aborden el desarrollo de metodologías y herramientas que permitan realizar un diagnóstico del “estado” del PDP en empresas u organizaciones.

Los autores de este trabajo, en estudios previos, han abordado el análisis de la gestión del PDP en empresas productoras de alimentos. Para tener un conocimiento de la situación de las empresas, al no contar con herramientas que permitan realizar un diagnóstico objetivo, procedieron a elaborar una metodología de diagnóstico: se realizaron numerosas entrevistas a directivos y responsables del PDP, aplicando un cuestionario semi-estructurado, y a partir de la sistematización de las respuestas se procedió a la creación de variables, subvariables y categorías de análisis, que permiten detectar el “estado” de situación del PDP en empresas. Dicho diagnóstico se utiliza para determinar el nivel de madurez de cada empresa, lo que permite implementar posteriormente acciones de mejora en el PDP.

El presente trabajo parte de un análisis bibliográfico del PDP en empresas del sector metalmecánico, y en base a la experiencia de los autores, busca revisar y adaptar las variables, subvariables y categorías al análisis de empresas del sector.

2 I CONTEXTUALIZACIÓN DEL SECTOR

La industria metalmecánica comprende un diverso conjunto de actividades manufactureras que utilizan entre sus insumos principales productos de la siderurgia y/o sus derivados, aplicándoles a los mismos algún tipo de transformación, ensamble o reparación. Asimismo, forman parte de esta industria las ramas electromecánicas y electrónicas. Esta industria es un eslabón fundamental en el entramado productivo de una nación, no sólo por su contenido tecnológico y valor agregado, sino también por su articulación con distintos sectores industriales. En otros términos, es llamada “Industria de Industrias” (Cabello, Perez Barcia, & Lifschitz, 2011)

En Argentina, la industria metalmecánica reúne alrededor de 20.000 establecimientos productivos, distribuidos principalmente en las provincias de Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe, y en la ciudad Autónoma de Buenos Aires. En estas cuatro zonas se concentra el 90% del universo metalmecánico nacional. Este sector industrial se caracteriza por ser una cadena integrada principalmente por pequeñas y medianas empresas que también coexisten con grandes empresas, particularmente en el segmento de fabricación de maquinaria y equipos. El conjunto de trabajadores del complejo metalmecánico abarca aproximadamente un 20% del total de empleados de toda la industria manufacturera. Asimismo, representa un 11,5% del valor agregado bruto industrial, posicionándose como una de las actividades industriales que generan el mayor valor agregado (Secretaría de Política Económica y Planificación del Desarrollo, 2016).

Dentro del rubro maquinarias y equipos se centra la atención en el segmento productivo denominado ingeniería bajo pedido o sistema de producción tipo proyecto. En las empresas que realizan su producción bajo la modalidad de proyectos, los productos son únicos y responden a los requerimientos específicos de cada cliente. Como no todas las especificaciones del producto pueden ser estandarizadas debido a la diversidad de los mismos, el proceso productivo debe ser flexible en sus características y capacidades de trabajo, así como las habilidades del grupo de trabajo o del proyecto. La solución del problema se logra a través de la adaptación, el trabajo en equipo y la administración adecuada del proyecto para obtener un diseño coordinado. La mayoría de las empresas que basan su producción en proyectos aplican procesos de innovación, ya que deben encontrar soluciones tecnológicas en función de lo que demande el proyecto, de manera de desarrollar un producto condicionado por las especificaciones de sus clientes.

3 I GESTIÓN DEL PROCESO DE DESARROLLO DE PRODUCTOS

En el contexto actual, las empresas que poseen ventajas competitivas centran sus objetivos en las variables costos, tiempo y calidad, principalmente en el PDP (Abu, 2012) (De Greef, 2017).

La Gestión del PDP implica la elección de una metodología de trabajo que comienza

por la identificación de una necesidad insatisfecha hasta llegar a obtener un producto que la satisfaga de la mejor manera posible. Conlleva la realización de un conjunto de actividades, en las que deben intervenir mancomunadamente las áreas funcionales de la organización. Básicamente, todas las teorías del proceso de desarrollo de productos contemplan las siguientes etapas: a) concepción y desarrollo de la idea, b) evaluación de la idea y selección del producto, c) desarrollo e ingeniería del producto y del proceso, d) evaluación y prueba del diseño, e) producción del producto, f) lanzamiento y seguimiento y g) retiro del producto del mercado y/o innovación del mismo.

A lo largo de la historia, las teorías de Gestión del PDP se integraron desde formas de desarrollo de producto con énfasis en la tecnología a formas de desarrollo de producto con énfasis en el cliente y en los negocios. La interfuncionalidad entre las áreas de la organización que demandan estos nuevos enfoques del PDP debe ser gerenciada de modo proactivo.

Existen diversos modelos de PDP descriptos en la literatura. Entre los más utilizados, se puede citar Ulrich y Eppinger (2007), Pahl y Beitz (2007), Kotler y Armstrong (2008) y Rozenfeld (2006). Pahl y Beitz se enfocan en el área de ingeniería; Ulrich y Eppinger, y Kotler y Armstrong enfatizan en el área de marketing, y Rozenfeld presenta un análisis unificado de ambas disciplinas.

Cabe destacar que en la última década se comenzaron a implementar herramientas y técnicas de diferentes áreas de conocimiento que permiten agilizar los procesos de desarrollo de nuevos productos, entre ellas se pueden mencionar a las denominadas "metodologías ágiles" (Ries, 2011) (Gomez C. L., 2017). Estas metodologías surgieron a partir de la necesidad de las empresas de adaptarse y responder al cambio rápidamente, y por ello proponen un enfoque iterativo e incremental de desarrollo que, en algunos sectores de actividad, ha sustituido el desarrollo tradicional "en cascada" (Knapp J., 2019). Entre ellas, se destacan: Design thinking, una corriente del diseño centrada en el usuario/cliente, que permite extraer las necesidades reales del mismo, y diseñar el producto pensando en su experiencia; Agile (Scrum), que propone un proceso de co-creación a través del cual se involucra al cliente en el proceso de desarrollo del producto y Lean, una metodología para la sistematización en el proceso de validación que requiere cualquier innovación, exponiendo al cliente de forma temprana a lo relacionado con el diseño del modelo de negocio (Elejabeitia, 2018) (Alaimo & Salías, 2015) (Gothelf, 2017).

En función de la bibliografía relevada por el grupo de investigación, al momento Rozenfeld realiza la contribución más relevante del PDP en relación a las industrias metalmecánicas, presentando un modelo referencial en el cual separa el proceso en tres macro fases: pre-desarrollo, desarrollo y pos-desarrollo, y cada una de ellas, en fases, actividades y tareas. El modelo de Rozenfeld, que se desarrolló para el sector automotriz, se ha tomado como referente para estudios de otros sectores industriales. Se trata de un modelo unificado que se define como marco teórico, para luego desarrollar diversos

Modelos Referenciales según el sector a analizar (modelo referencial para el sector alimenticio, metalúrgico, plástico, etc.). En la figura 1 se expone un esquema sintético que presenta las Macrofases y Fases del Modelo.

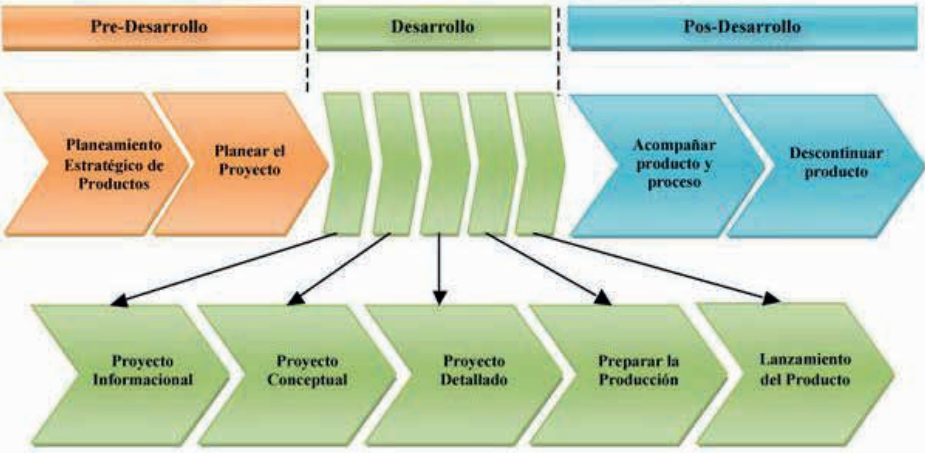



Figura 1. Modelo de Referencia para la Gestión del PDP propuesto por Rozenfeld.

4 I NIVELES DE MADUREZ

El Nivel de Madurez, siguiendo a (Chrissis, 2009), consiste en las mejores prácticas que abarcan el ciclo de vida del producto, desde su concepción hasta la entrega, seguimiento y su eventual retiro del mercado. El estudio de los Niveles de Madurez (Durango Yepes, 2014) permite diagnosticar el proceso de la empresa (nivel actual) y guiar a los responsables sobre formas de intervención para alcanzar un rendimiento superior (Kerzner, 2002).

Existen modelos de madurez propuestos por autores y organismos, que presentan diferentes escalas de clasificación. Este trabajo considera los Modelos de Rozenfeld y propone la siguiente clasificación de Niveles de Madurez del PDP:

Elemental: Se realizan sólo algunas actividades esenciales del PDP. Los requisitos del producto son definidos de forma intuitiva, y se realiza un esbozo del producto en relación a esas características. Existe una integración inicial entre la planificación estratégica de la empresa y el producto, aunque es informal y por medio del diálogo, teniendo en cuenta la experiencia de los responsables. La entrega del producto se efectúa con escasa planificación y el seguimiento del producto se limita a recepcionar eventuales reclamos. Muchas de las actividades están orientadas a cumplir la legislación vigente, y el desarrollo de productos no se concibe como un proceso de negocio.

Intermedio: Se realizan las actividades más relevantes de cada fase del proceso, y de manera repetitiva. Además de definir requisitos del producto, se desarrollan prototipos y se evalúan (análisis técnicos, comerciales y financieros), aunque de forma no sistemática.

La empresa piensa en un portfolio de productos, analizando cada proyecto de forma relativa. La empresa comienza a aplicar los conceptos de aprobación de fase (gates). La planificación de la entrega es más elaborada, y se efectúan algunas actividades de acompañamiento (comparación de valores pronosticados y reales). El PDP comienza a concebirse como un proceso de negocio, y se llevan a cabo iniciativas simples para mejorar el proceso, sin un abordaje sistemático.

Avanzado: Se realiza la mayoría de las actividades propias de un proceso estructurado. Se definen requisitos de producto en función a estudios pormenorizados del cliente y del entorno, se realizan prototipos y pruebas piloto/en planta, que son evaluados en detalle (análisis técnicos). Se suman también análisis económicos, financieros, comerciales y legales, en forma sistemática. Se realiza una planificación del proceso y se cronograman todas las acciones en forma detallada. La gestión del portfolio se realiza en forma integrada con la planificación estratégica de la empresa. Las estrategias de entrega son planificadas y las actividades de seguimiento en el mercado son formalmente realizadas, designándose responsables del acompañamiento de producto que monitorean constantemente variables clave. El PDP es considerado un proceso central del negocio.

5 I HERRAMIENTA DE DIAGNÓSTICO

A partir de los modelos de referencia mencionados, y en base a trabajos realizados por los autores en el sector alimenticio, se procede a adaptar un instrumento de diagnóstico que, definiendo variables, subvariables y categorías, permitirá determinar la situación actual de las empresas en relación al PDP. La Tabla 1 expone las variables, subvariables y categorías construidas.

Variable	Subvariable	Categorías
ESTRUCTURA DE DESARROLLO Relevancia que la organización otorga al PDP en términos de estructuras materiales.	**1. Formalización del área** Existencia de un área específica.	**Básico:** No existen áreas o departamentos de desarrollo/ingeniería.
		Informal: Existe en el organigrama, nivel secundario: existe un área o departamento de desarrollo/ingeniería (tercer o cuarto nivel jerárquico).
		Formal: Existe en el organigrama, nivel prioritario: existe un área o departamento de desarrollo/ingeniería (segundo o tercer nivel jerárquico).
	2. Composición del área Personas involucradas y modo en que se lleva adelante el proceso.	**Básico:** Unipersonal. El proceso recae en una persona.
		Informal: Existe un grupo de personas que gestionan las nuevas ideas de productos. No obstante, las personas que participan varían a lo largo del proceso.
		Formal: Existe un equipo de trabajo que es responsable de desarrollar, aprobar y gestionar las nuevas ideas de productos. El equipo es estable a lo largo del proceso.

ACTIVIDADES REALIZADAS EN RELACIÓN AL PDP Actividades que lleva adelante la empresa relacionadas específicamente al PDP.	**PRE-DESARROLLO**	*Actividades relacionadas a aspectos estratégicos.*
	3. Planificación estratégica y de productos Alineación entre el planeamiento del PDP y el plan estratégico.	**Básico:** La estrategia general de la empresa se centra en la experiencia/ intuición de los directivos, y el desarrollo de productos sigue la misma lógica.
		Informal: La empresa tiene algunos objetivos estratégicos e intenta orientar el PDP hacia esas metas, revisando y actualizando la cartera de productos.
		Formal: La planificación estratégica de la empresa considera la planificación del PDP, lo que permite atender objetivos corporativos a través del desarrollo de productos.
	4. Análisis del entorno Análisis del mercado y de la empresa.	**Básico:** No existen análisis sistemáticos; las posibilidades que el entorno o la empresa pueden brindar al PDP surgen a partir de la experiencia o intuición o de sugerencias.
		Informal: Cada cierto período de tiempo se recolecta información sobre el entorno y sobre posibilidades técnicas de la empresa buscando detectar oportunidades.
		Formal: Existe un análisis estructurado de variables del entorno (clientes/ usuarios, competidores, proveedores, patentes) y de los procesos de la empresa.
	5. Proceso de generación y selección de ideas Recolectar información, generar ideas de nuevos productos y seleccionarlas.	**Básico:** La generación y selección de ideas se da en forma espontánea (durante alguna reunión o haciéndolas llegar a el/los encargado/s).
		Informal: Se realizan reuniones para generar ideas, y la selección se da luego de relevar algunas condiciones generales (factibilidad técnica y posibilidad comercial).
		Formal: Se utilizan técnicas para la generación de ideas (Brainstorming, Análisis FODA, Benchmarking) e investigación de patentes/avances científico tecnológicos. La selección de las ideas a desarrollar requiere de un análisis cuantitativo y cualitativo.
	6. Evaluación y aprobación de las ideas Análisis de la oportunidad de la/s idea/s selecciona-da/s, y su viabilidad	**Básico:** Luego de la selección de la/s idea/s, la aprobación se da por un proceso de votación, basado en la experiencia de los participantes, sin demasiadas evaluaciones.
		Informal: Se procede a aprobar las ideas de acuerdo a ciertos criterios preestablecidos (capacidad técnica, demanda a atender, productos competidores).
		Formal: Existe un procedimiento estandarizado para evaluar las ideas desde aspectos estratégicos, comerciales, financieros y técnicos. La aprobación de las ideas se da luego del análisis de la información y cuenta con una serie de pasos formalizados.

ACTIVIDADES REALIZADAS EN RELACIÓN AL PDP Actividades que lleva adelante la empresa relacionadas específicamente al PDP.	**DESARROLLO**	*Actividades relacionadas a transformar la oportunidad en producto*
	7. Desarrollo de concepto y evaluación Traducir la idea en especificaciones de producto.	**Básico:** No existen actividades que vinculen oportunidades comerciales/necesidades con especificaciones de producto. Aprobada la idea, el proceso continúa con propuestas preliminares de posibles soluciones, para pasar a la elaboración de prototipos o directamente a la línea de producción.
		Informal: Existen actividades orientadas tanto a la investigación de las necesidades y requisitos del producto, como a diseño de soluciones, aunque varían entre cada idea de producto y no siguen una secuencia estructurada.
		Formal: Existe un procedimiento estandarizado para avanzar en el desarrollo del concepto del producto. La aprobación se da luego del análisis pormenorizado de la información y cuenta también con una serie de pasos formalizados.
	8. Realización y evaluación de prototipo Prueba en escala reducida, continuando el proceso con uno o pocos prototipos.	**Básico:** Se realizan algunas pruebas básicas en talleres/plantas piloto y otras son tercerizadas. La evaluación consiste fundamentalmente en observar si se logran resultados.
		Informal: Se realizan mayoritariamente pruebas en talleres/plantas piloto propios, y se evalúan a partir de una serie de análisis establecidos, pero no siguen una secuencia estructurada. El o los prototipos que continúan el proceso son elegidos fundamentalmente a partir de la experiencia de los encargados del desarrollo.
		Formal: Existen numerosos pasos estandarizados para las pruebas, que deben ser documentadas y desarrolladas en talleres/plantas piloto propios (excepto análisis complejos, donde se evalúa en detalle la contraparte), dado el énfasis en la confidencialidad. Expertos evalúan las propiedades físicas y mecánicas de los productos, contando con pasos y documentación para la evaluación. El o los prototipos que continúan el proceso son elegidos en base a estas evaluaciones.
	9. Análisis de viabilidad Implica, a partir del prototipo, un análisis comercial, financiero y técnico más preciso.	**Básico:** El análisis se basa fundamentalmente en fijar algunos costos para evaluar si el precio final resulta competitivo respecto a productos similares.
		Informal: Existen análisis que brindan mayor información para decidir la continuidad del desarrollo, donde participan encargados de diferentes áreas (comercial, producción, finanzas) pero varían entre cada producto y no son estructurados.
		Formal: Existen pasos estandarizados para evaluar las ideas desde aspectos estratégicos, comerciales, financieros y técnicos.

ACTIVIDADES REALIZADAS EN RELACIÓN AL PDP Actividades que lleva adelante la empresa relacionadas específicamente al PDP.	**10. Evaluación del prototipo y preparación de la producción** Evaluación: análisis de vida útil y de estabilidad	**Básico:** La evaluación consiste fundamentalmente en observar si se logran resultados aceptables, y concluye con la aprobación del producto por parte de organismos correspondientes. Según la industria, comienza la producción para su entrega.
		Informal: Se realizan los análisis, pero varían entre cada producto y no siguen una secuencia estructurada. Además de cumplir la normativa, se elaboran otros informes (registro del producto y del proceso, especificaciones de calidad para proveedores, etc).
		Formal: Existen numerosos pasos estandarizados para las actividades de evaluación que deben ser debidamente documentados. Los expertos continúan la evaluación para corroborar que se mantiene la calidad de los productos, y los pasos y documentación involucrada se encuentran estructurados. Existen normas para la homologación y registro del proceso y del producto.
	11. Entrega del producto Desarrollar estrategias de distribución, ventas, publicidad, etc.	**Básico:** La estrategia se basa en ofrecer el producto a partir de distribuidores o puntos de ventas con los que la empresa trabaja asiduamente.
		Informal: Existe un análisis de los puntos de venta, algunas estrategias de venta (por ej., material publicitario y testeo en puntos de venta) pero varía en cada producto.
		Formal: Se realiza un análisis pormenorizado de los canales de distribución y comercialización, y se detalla la estrategia de entrega correspondiente a cada uno de ellos.
	POSDESAR-ROLLO	*Actividades relacionadas a evaluar el desempeño del producto en el mercado.*
	12. Evaluación de la satisfacción de los clientes Satisfacción del cliente para retroalimentar el PDP	**Básico:** En forma pasiva. Eventualmente se reciben reclamos de clientes y se busca solucionarlos, pero el aprendizaje no siempre se vuelca en mejoras en el proceso.
		Informal: Además de recibir y tratar los reclamos, se busca relevar información mediante conversaciones con vendedores o distribuidores, pero son informales.
		Formal: Existen canales y mecanismos para evaluar la satisfacción del cliente que deben cumplimentarse como parte del PDP. La información se recolecta en forma estandarizada y sirve para retroalimentar el proceso.
	13. Desempeño del producto Monitoreo sobre aspectos comerciales, productivos y servicios.	**Básico:** Se analiza solo el nivel de ventas del producto para decidir su continuidad.
		Informal: Se realizan análisis comerciales y técnicos contrastando lo planificado con el desempeño, pero sin un patrón determinado ni sistematización.
		Formal: Se monitorea el producto en aspectos comerciales, productivos y servicios pos venta en forma estructurada y sistematizada. Énfasis en detectar oportunidades.
14. GATES “Puntos de decisión” en etapas críticas, que permiten decidir continuar, redireccionar o suspender el desarrollo.		**Básico:** Existen básicamente dos Gates, que surgen por necesidad de direccionar el PDP, sin sistematización: avanzar con la prueba de ideas, y aprobar la entrega del producto.
		Intermedio: El proceso cuenta con algunos puntos de decisión establecidos a partir de la experiencia, y si bien en cada nuevo desarrollo se enriquecen los criterios de aprobación, no existen pasos previstos para su formalización.
		Formal: Los puntos de decisión se encuentran estandarizados: existen pautas para que se puedan llevar a cabo (reuniones y entregas con fechas previstas y conocidas en función de las actividades, participantes necesarios, informes requeridos, etc.). Los Gates retroalimentan los criterios de evaluación en función de cada nuevo desarrollo.

15. CRONOGRAMA Lista de elementos terminales del proyecto con fechas de inicio y fin.		**Básico:** No existen cronogramas y, en ocasiones, se pactan fechas tentativas; el PDP avanza según las disponibilidades de los encargados.
		Informal: Se pacta un cronograma tentativo, pero no se documenta ni se realiza un seguimiento estricto del mismo.
		Formal: La elaboración del cronograma es un paso fundamental del PDP, y suele realizarse a partir de una Estructura de Desglose del Trabajo (EDT). Una vez establecido, existen encargados de monitorear el progreso del proyecto.
COMUNICA-CIÓN Mecanismos de intercambio de información interna.	**16. Reuniones**	**Básico:** Si bien pueden existir algunas reuniones pautadas, las personas se reúnen espontáneamente para resolver cuestiones relativas al PDP, generalmente en el transcurso de su trabajo diario.
		Informal: Las reuniones entre los involucrados en el PDP son convocadas con cierta antelación y cuentan con preparación, pero se realizan en la medida de lo necesario.
		Formal: El PDP cuenta con reuniones estandarizadas en los diferentes momentos del proceso, están previstas en el cronograma.
	17 Flujo de Información Formas usadas: canal (oral o escrito) y utilización de los registros (individual/ compartido).	**Básico:** La información circula fundamentalmente en forma oral; los registros se utilizan en forma individual y eventualmente se comparten vía correo electrónico.
		Informal: Si bien la información circula en forma oral, se tiende a emplear canales escritos. Los registros se utilizan de forma individual y compartida (vía e-mail).
		Formal: Se utilizan principalmente canales escritos. Los registros se comparten en red (vía intranet o servicios *en la nube*).
18. DOCUMEN-TACIÓN Tipos de documentos que la empresa elabora y utiliza para el PDP, incluyendo nivel de estandarización y almacenamiento		**Básica:** Se elabora solo la documentación obligatoria por los organismos correspondientes. Los documentos no se encuentran estandarizados y no existen pautas de almacenamiento de la información.
		Informal: Se suman otros documentos, en diferentes fases (Planificaciones, Informes de resultados y específicos de los Análisis realizados) que no siguen patrones estandarizados. Se almacenan los documentos relevantes, a cargo de los encargados del proceso, dependiendo de ellos la posibilidad de recuperar información a futuro.
		Formal: Existen documentos para la mayoría de las actividades y decisiones del PDP. Los formatos se encuentran estandarizados. Un aspecto relevante del PDP es el almacenamiento de la información, que facilite su posterior consulta.

Tabla 1. Variables, subvariables y categorías de Diagnóstico. Elaboración propia.

Se debe notar que en las distintas etapas del proceso de desarrollo de productos, las empresas del sector metalmecánico podrían estar aplicando “metodologías ágiles” para llevar a cabo algunas o todas las actividades propias del PDP. Por tal motivo, en el momento en que se aplique el instrumento de diagnóstico presentado, a través de un cuestionario semi-estructurado, se incluirán preguntas asociadas específicamente a la utilización de metodologías ágiles, de manera de detectar qué etapas se desarrollan utilizando este tipo de prácticas y cuán avanzado está el sector en el conocimiento de las mismas.

6 I CONCLUSIONES

El presente trabajo tuvo por objetivo, a partir del relevamiento bibliográfico y de la

experiencia del grupo de investigación, adaptar una herramienta de diagnóstico del Proceso de Desarrollo de Productos de elaboración propia a empresas del sector metalmecánico. A partir de ello, se observa que las variables, subvariables y categorías definidas resultarán de utilidad para efectuar el diagnóstico, dado que presentan la suficiente amplitud para reflejar la situación actual del PDP en empresas diversas. Próximos trabajos abordarán los resultados de la aplicación de la herramienta en ciertas organizaciones productivas del sector radicadas en la región Litoral.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la contribución económica brindada por la ANPCyT, a través del FONCyT (PICT 2020 - SERIE A 003533) y a la UNL (PI CAI+D 2020 - 50620190100030LI).

REFERENCIAS

Abu, N. e. (2012). The pre-development process implementation of product innovation. *International Journal of Business and Management Science.*

Alaimo, M., & Salías, M. (2015). *Proyectos Ágiles con Scrum.* Buenos Aires: Kleer.

Cabello, A., Perez Barcia, V., & Lifschitz, E. e. (2011). *Análisis del complejo industrial metalmecánico.* Buenos Aires: Universidad Nacional de San Martin.

Chrissis, M. K. (2009). *Guía para la integración de procesos y la mejora de productos.* Madrid: Pearson Eduación.

De Greef, M. A. (2017). Management of the Process of Development of Products: Study of the Levels of Maturity in Food Industries. *Iberoamerican Journal of Project Management, vol. 8, n° 2*, 94-117.

Durango Yepes, C. Q. (2014). Metodología para evaluar la madurez de la gestión del conocimiento en empresas colombianas. *Tecnura, v. 19, n. 43*, 20-36.

Elejabeitia, J. (2018). *Coaching con Design Thinking.* Madrid: Nextyou.

Gomez C. L., A. A. (2017). *Métodos Ágiles, scrum, kanban, lean.* Madrid: Anaya Multimedia.

Gothelf, J. (2017). *Lean vs. Ágile vs. Design Thinking.* USA: Gothelf Corp.

Kerzner, H. (2002). *Gestão de Projetos. As Melhores Práticas.* Porto Alegre: Bookman.

Knapp J., Z. J. (2019). *Sprint el método para resolver problemas y testear nuevas ideas en sólo cinco días.* Barcelona: Penguin Random House.

Ries, E. (2011). *The Lean Startup: How Today's Entrepreneurs Use Continuous Innovation to Create Radically Successful Businesses.* Nueva York: Crown Publishing.

Secretaría de Política Económica y Planificación del Desarrollo, M. d. (2016). *Informes de Cadena de Valor.* Buenos Aires.

DESARROLLO DE MATERIALES MESOPOROSOS BASADOS EN SiO_2 PARA LA PERMEACIÓN DE GASES

Data de aceite: 02/06/2023

S. J. Domínguez-León
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica Multidisciplinaria de Jalpa de Méndez.86205, Jalpa de Méndez, Tabasco, México
Laboratorio de Síntesis y Caracterización de Materiales Avanzados,86205, Jalpa de Méndez, Tabasco, México.

J. A. Galaviz-Pérez
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica Multidisciplinaria de Jalpa de Méndez.86205, Jalpa de Méndez, Tabasco, México
Laboratorio de Síntesis y Caracterización de Materiales Avanzados,86205, Jalpa de Méndez, Tabasco, México.

Z. B. Cuevas-Carballo
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica Multidisciplinaria de Jalpa de Méndez.86205, Jalpa de Méndez, Tabasco, México
Laboratorio de Síntesis y Caracterización de Materiales Avanzados,86205, Jalpa de Méndez, Tabasco, México.

RESUMEN: Este trabajo describe la preparación de membranas porosas de dióxido de silicio (SiO_2), carbonato de calcio ($CaCO_3$) y dióxido de titanio (TiO_2). Dichas membranas fueron preparadas a una presión isotérmica de 10 toneladas utilizando una prensa hidráulica. Los nanopolvos utilizados en la preparación de las membranas se sintetizaron mediante la técnica sol-gel, utilizando Tetraetil Ortosilicato (TEOS) como fuente de silicio, cáscara de huevo como fuente de carbonato de calcio y Tetraisopropóxido de Titanio (TTIP) para preparar titania. Los materiales obtenidos se calcinaron a 1000 y 1100 °C para su sinterización. Los sólidos se caracterizaron por difracción de rayos X (XRD) para determinar la estructura cristalina de los materiales, así como Microscopía Óptica para visualizar la su morfología. Las pruebas preliminares de permeación de gases se llevaron a cabo con nitrógeno y CO_2.

PALABRAS CLAVE: Membranas, permeación.

INTRODUCCIÓN

Las membranas cerámicas, generalmente, pueden describirse como una barrera permselectiva o un tamiz fino, dicha permeabilidad y el factor de

separación de una membrana cerámica son los dos indicadores de rendimiento más importantes que deben ser tomados en cuenta. Ahora bien, si consideramos una membrana cerámica porosa, estos indicadores van a estar regidos normalmente por el grosor, el tamaño de los poros y la porosidad superficial de la membrana, mientras que para una membrana cerámica densa, el principio de permeación y separación es más complejo.

Las membranas cerámicas suelen ser compuestos que consisten en varias capas de uno o más materiales cerámicos diferentes, generalmente tienen un soporte macroporoso, una o dos capas intermedias mesoporosas y una capa superior microporosa (o densa), la capa inferior proporciona soporte mecánico, mientras que las capas intermedias unen las diferencias de tamaño de poro entre la capa de soporte y la capa superior donde se produce la separación real. Los materiales comúnmente utilizados para las membranas cerámicas son Al_2O_3, TiO_2, ZrO_2, SiO_2, etc. o bien una combinación de estos materiales. [1]

En este sentido, las membranas mesoporosas se presentan como una alternativa adecuada para la separación y permeación de gases, buscando sustituir membranas compuestas por metales preciosos como el paladio (Pd) y el platino (Pt). Es así como se ha reportado que las membranas de sílice han demostrado una alta permeabilidad y selectividad frente a determinados gases como H_2, CO_2 y N_2.

Las mezclas de gases se pueden separar mediante membranas cerámicas densas o porosas, como ya se ha comentado anteriormente, ya que las membranas cerámicas densas están hechas de materiales cerámicos cristalinos como perovskitas o fluoritas, que permiten la permeación de oxígeno o hidrógeno a través de su red cristalina. Por lo tanto, en su mayoría son impermeables a todos los demás gases, lo que les otorga una selectividad extremadamente alta hacia el oxígeno o el hidrógeno. [1]

En su gran mayoría, los gases contaminantes generados en las grandes industrias son liberados al ambiente sin ningún proceso alternativo de tratamiento o separación en algunos casos, por lo cual, la manufactura y el uso de dichas membranas supone una solución eficaz al presente problema. Es así como los procesos de separación con membranas suponen una alternativa atractiva desde el punto de vista comercial a los procesos tradicionales de separación de gases. Entre las aplicaciones actuales de los procesos de separación de gases ha despertado gran interés la captura de dióxido de carbono, para ello, es fundamental conocer el funcionamiento de las membranas mesoporosas, el cual es simple, ya que en un equipo conformado por tubos conectados (uno al suministro de gases y otro como tubo de salida de gases) y entre ellos la membrana, se hace pasar los gases contaminantes generados, los cuales permean la membrana de forma incompleta, ya que lo que se hace con CO_2 es que los átomos de C quedan atrapados dentro de los poros de la membrana, dejando pasar sólo los átomos de oxígeno, los cuales son liberados al ambiente sin que queden daños subsecuentes. [2]

En las membranas cerámicas microporosas, el comportamiento de permeación de gas puede estar dominado por la difusión Knudsen, la difusión superficial, la difusión multicapa,

la condensación capilar o el tamizado molecular (es decir, la difusión configuracional) y depende en gran medida del tamaño de poro y la distribución del tamaño de poro de la membrana. temperatura y presión de operación, y la naturaleza de la membrana y las moléculas permeantes. Cuando los poros de la membrana tienen aproximadamente el mismo tamaño que el diámetro de la molécula de gas, puede tener lugar el tamizado molecular. Este mecanismo se caracteriza por una fuerte dependencia de la temperatura y, lo que es más importante, una fuerte disminución de las permeabilidades de las moléculas de gas más grandes. [3]

La sílice es un material apto para la fabricación de membranas selectivas de CO_2 debido a su estabilidad química, térmica y estructural tanto en ambientes oxidantes como reductores, siendo así la sílice ordenada mesoporosa un material de soporte ideal por su función activa debido a su área superficial y su estructura porosa bien definida. Además, un aspecto que debemos tomar en cuenta es que los grupos hidroxilos en su superficie son importantes en muchos fenómenos superficiales, tales como adsorción de gases, modificación superficial y propiedades de mojado. [4]

La aportación de este trabajo está basada en la optimización de un método de síntesis de sílice mesoporosa rápido y eficiente para una posterior conversión de forma sencilla a membranas para separación de gases, así como la caracterización y futura evaluación de éstas. En el cual, como operación principal, nos en basamos la obtención de las membranas mediante el método sol-gel, concretamente citrato-nitrato, que se puede utilizar para preparar materiales de silicio poroso debido a las altas temperaturas de calcinación utilizadas.

A continuación, se muestran tanto la metodología utilizada para la preparación de las membranas como los resultados preliminares obtenidos de la microscopía óptica y la difracción de rayos X (XRD), donde se observan la superficie de las membranas y los patrones obtenidos de las diferentes muestras, respectivamente. Cabe señalar que se prepararon membranas de SiO_2 puro y combinado con TiO_2, y $CaCO_3$.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

A partir del método sol-gel, los polvos de SiO_2 se sintetizaron utilizando TEOS como precursor de silicio, que se mezcló en una solución A con etanol; mientras tanto, en una solución B, se mezclaron HNO_3, ácido cítrico y agua destilada para posteriormente mezclar estas dos soluciones bajo una agitación constante. Cada solución tuvo un tiempo de 20-30 minutos en agitación, y al terminar, la solución resultante se mantuvo en un baño de glicerina a 60°C durante 24 horas. El gel obtenido se calcinó a 250 °C para obtener un sólido que fuera fácil de molerse para una posterior calcinación a 900°C. El producto final, se molió hasta quedar un polvo fino que se mezcló con diferentes proporciones en peso de PVA (1%, 2%, 3%) y etanol para la preparación de las membranas. El PVA (polivinil alcohol)

funge como adhesivo entre los materiales que se van a combinar.

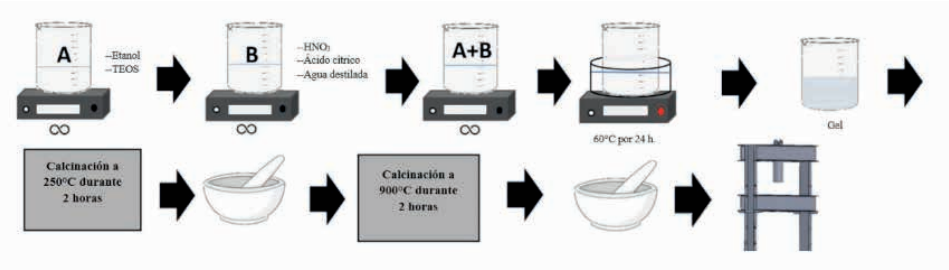



Figura 1. *Metodología para la síntesis y elaboración de membranas de SiO_2.*

PREPARACIÓN DE LAS MEMBRANAS

Las membranas se prepararon utilizando los polvos combinados en una prensa hidráulica para obtener una especie de pastillas que posteriormente se calcinaron a 1000 ° C su sinterización y para promover la porosidad. Cada membrana contó con una cierta cantidad de los materiales, ya que el peso neto de las membranas oscilaba entre los 0.2 gr, por lo cual decidimos que las proporciones quedarían justo como lo describe la Tabla 1.

	SiO_2-$CaCO_3$		**SiO_2-TiO_2**		**SiO_2**
	30%	70%	30%	70%	100%
	0.06 g	0.14 g	0.06 g	0.14 g	0.2 g
PVA 1%	0.002 g		0.002 g		0.002 g
PVA 2%	0.004 g		0.004 g		0.004 g
PVA 3%	0.006 g		0.006 g		0.006 g

Tabla 1. *Proporciones de PVA en relación con la cantidad de materiales usados y sus combinaciones.*

Teniendo listas las combinaciones, se procedió a secar los polvos para eliminación de la humedad; esto se hizo en tiempos de 20-30 minutos. Una vez secos se llevaron directamente a una prensa hidráulica Trupper, cada polvo fue sometido a más de 12 toneladas de presión utilizando un pastillero de acero inoxidable como molde para dar la forma que necesitábamos. Las dimensiones de las pastillos fueron de 1.2 cm de diámetro y 0.12 cm de espesor.

RESULTADOS PRELIMINARES

Análisis por DRX

Los resultados obtenidos mediante el equipo de Difracción de Rayos X Bruker D2-Phaser (Figura 2) de las membranas que se prepararon, mostraron la presencia de dos fases principales en los espectros, las cuales fueron la fase cristobalita y tridimita, que

corresponden a los picos más altos en los difractos mostrados. Es importante mencionar que la presencia de TiO_2 y $CaCO_3$ afecta notablemente la cristalinidad de las membranas.

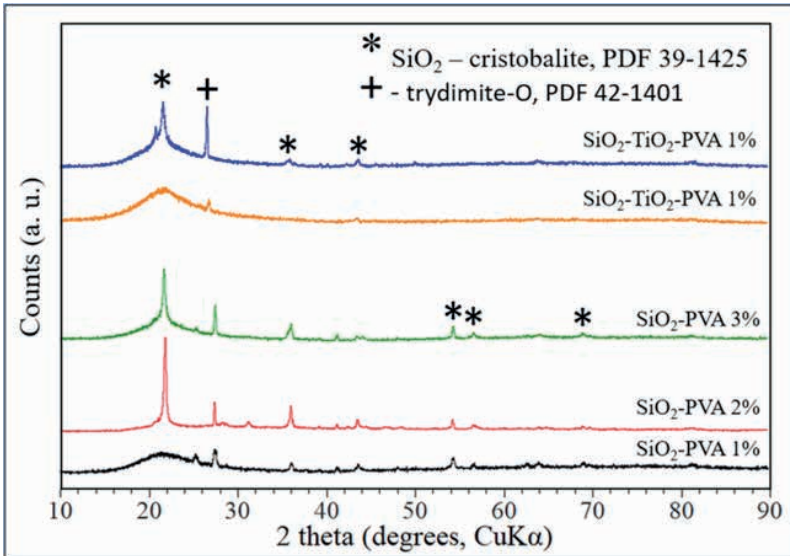



Figura 2. *Patrones DRX de las membranas con mejores propiedades mecánicas a distintas proporciones de PVA.*

Se muestran solamente la caracterización por DRX de las membranas que exhibieron las mejores características mecánicas, dejando de lado aquellas que durante el proceso de prensado no tuvieron éxito y las que en la sinterización se rompieron.

MICROSCOPÍA ÓPTICA

Se hizo uso de un microscopio metalográfico para observar la superficie de las membranas, para ello fueron claves la utilización de los aumentos 4X y 40X. Aparentemente las superficies de las distintas membranas son iguales (ver Figura 3). Las imágenes obtenidas por microscopía óptica nos permitieron ver en detalle cómo es la superficie de cada una de las membranas y los poros que se formaron en la superficie de cada una de ellas. También se puede observar lo que parecen ser estructuras cristalinas, causadas por la interacción de materiales que se combinaban con SiO_2 a altas temperaturas de calcinación.

El uso de los diferentes aumentos del microscopio óptico sólo permite el enfoque en una sola área de la membrana y así ver progresivamente su superficie en detalle, por lo que fue necesaria una comparación de las áreas superficiales que son casi idénticas de las membranas que exhibían mejores características.

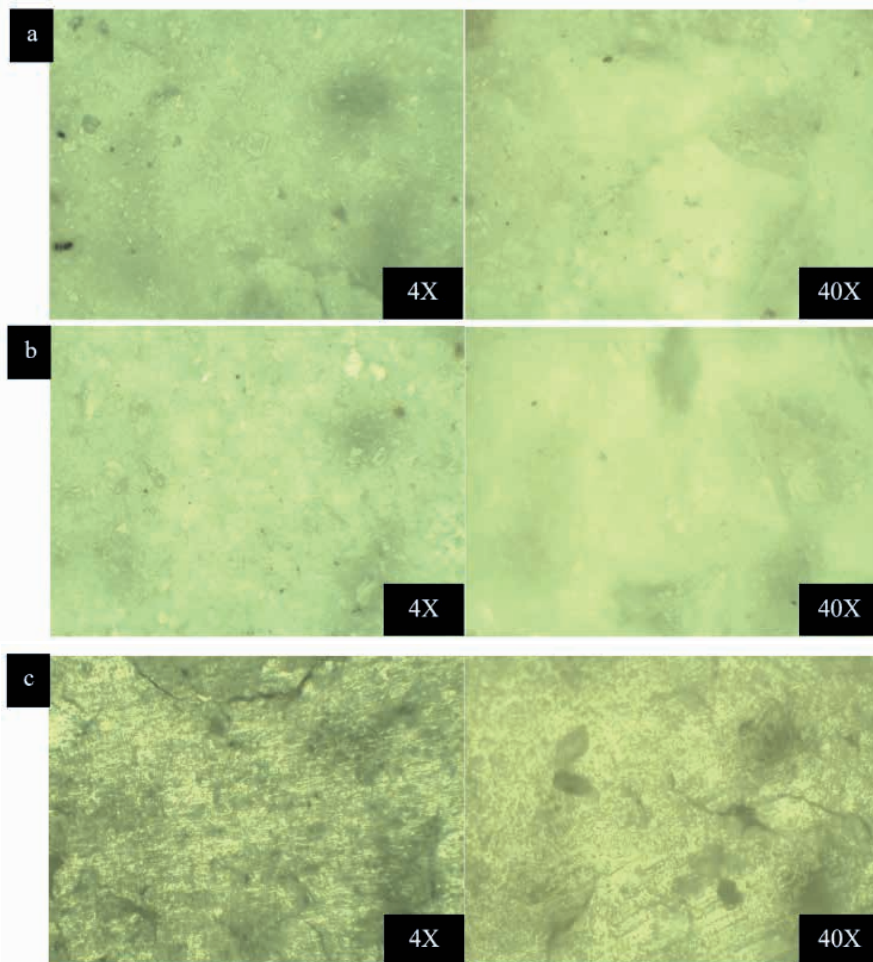



Figura 3. *Imágenes de Microscopía Óptica de las membranas con mejores características. (a) SiO_2-$CacO_3$ [PVA 1%], (b) SiO_2 [PVA 2%], (c) SiO_2-TiO_2 [PVA 3%].*

EVALUACIÓN DE PERMEACIÓN DE GASES

Con las membranas listas, se da un paso muy importante hacia las pruebas de permeación de gases, donde se utilizarán gases como N_2 y CO_2 para verificar si el tamaño de poro creado logra permear los gases. De la misma manera, se planea sumergir las membranas en diferentes soluciones ácidas para promover aún más la porosidad y determinar el tamaño de los poros, el área de superficie, la composición y la morfología; haciendo uso de las técnicas de FTIR, BET area y SEM, respectivamente.

El dispositivo en el que harán las pruebas de permeación se basa en el principio de presión diferencial, en el que la membrana está montada en el medio de un tubo que está conectado a dos mangueras, por la parte inferior (P1) el gas se envía a una determinada

presión y ésta debe salir a través de la membrana con una presión (P2) inferior a la presión inicial, lo que indicará que la membrana logra permear eficazmente los gases.

CONCLUSIONES PRELIMINARES

El método utilizado para obtener los nanopolvos y su combinación con TiO_2, $CaCO_3$ y PVA en diferentes porcentajes de peso para obtener las membranas nos dio resultados variables pero muy interesantes para ser el inicio del proyecto. Las membranas parecen mecánicamente fuertes y exhiben una buena consistencia; es posible percibir los poros que se han formado en base a la eliminación de PVA. El uso de $CaCO_3$ no nos dio los resultados esperados, ya que las membranas hechas con la combinación SiO_2 + $CaCO_3$ y PVA en porcentajes 2% y 3% de peso, cuando se calcinaron a 1000°C exhibieron características quebradizas y por lo tanto se rompieron.

Se realizaron algunas pruebas preliminares con un dispositivo de permeación de gas comprimido, en el que las membranas demostraron que efectivamente dejan pasar los gases a través de sus poros con una caída de presión significativa, siendo las membranas de SiO_2 (2% PVA) las que dieron los mejores resultados.

Se espera poder montar un dispositivo de permeación más completo para determinar con precisión cómo ocurre el fenómeno de permeación con las diferentes membranas y evaluar su selectividad ante los gases ya mencionados.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco por el apoyo y uso de los laboratorios de Síntesis y Caracterización de Materiales de la División Académica Multidisciplinaria de Jalpa de Méndez para llevar a cabo los métodos experimentales del proyecto.

REFERENCIAS

[1] Kang Li. (2007). Ceramic Membranes for Separation and Reaction. Department of Chemical Engineering and Chemical Technology. John Wiley & Sons Ltd. ISBN 978-0-470-01440-0

[2] Nieto Monge, J. (2011). Membranas híbridas esferas de sílice funcionalizadas y polímero para la separación de CO_2. Departamento de Ingeniería Química y TMA, Instituto Universitario de Investigación en Nanociencia de Aragón.

[3] Coronas, J., Gonzalo, A., Lafarga, D. and Menendez, M., Effect of the membrane activity on the performance of a catalytic membrane reactor. American Institute of Chemical Engineers Journal, 43 (11): 3095–3104 (1997).

[4] Asaeda, M. Yamasaki, S. (2001). Separation of inorganic/organic gas mixtures by porous silica membranes. Separation and Purification Technology. doi.org/10.1016/S1383-5866(01)00099-5

[5] Pengspen, Lv, Hailei Zhao, Zhaolin Li, Chunhui Gao, Yang Zhang. (2019). Citrate-nitrate gel combustión synthesis of micro/nanoestructured SiOx/C composite as high performance lithium-ion battery anode. Solid State Ionics. Volume 340. 2019. 115024, ISSN 0167-2738.

CAPÍTULO 9

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LECHO FLUIDIZADO CON CONTROL (PID) DE TEMPERATURA, FLUJO DE AIRE Y HUMEDAD PARA GRANOS DE QUINUA (Chenopodium quinoa willd)

Data de submissão: 12/05/2023 *Data de aceite: 02/06/2023*

Russel Allidren Lozada Vilca
Universidad Nacional de Juliaca. Juliaca - Perú
https://orcid.org/ 0000-0002-8915-3964

Luz Gisela Pfuño Medina
Universidad Nacional de Juliaca. Juliaca - Perú
https://orcid.org/0009-0002-1960-4659

Uriel Quispe Mamani
Universidad Nacional de Juliaca. Juliaca - Perú
https://orcid.org/0000-0001-6101-3671

Yanet Violeta Sucari Sucari
Universidad Nacional de Juliaca. Juliaca - Perú
https://orcid.org/0000-0003-0547-4136

Ciro William Taipe Huamán
Universidad Nacional de Juliaca. Juliaca - Perú
https://orcid.org/0000-0002-6075-5582

John Carlos Quispe Chambi
Universidad Nacional de Juliaca. Juliaca - Perú
https://orcid.org/0000-0003-0879-9892

Julio Cesar Laura Huanca
Universidad Nacional de Juliaca. Juliaca - Perú
https://orcid.org/0000-0002-6496-5982

Madelaine Huánuco Calsín
Universidad Nacional del Altiplano. Puno - Perú
https://orcid.org/0000-0002-4050-8146

Yaquelin Roxana Vilca Ramos
Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez. Juliaca, Perú
https://orcid.org/0000-0002-2656-546X

José Oscar Huanca Frias
Universidad Nacional de Juliaca, Juliaca - Perú
https://orcid.org/0000-0003-0638-2129

RESUMEN: El presente trabajo de investigación se realizó con el objetivo de diseñar e implementar un lecho fluidizado con control (PID) que contiene sensores de temperatura, flujo de aire caliente y humedad para secar grano de quinua (chenopodium quinoa willd) saponificada. Se realiza con el fin de optimizar y estandarizar el proceso del deshidratado con los parámetros normalizados según norma específica

CODEX. Y la metodología consiste en la programación de los sensores de temperatura a 55 °C, flujo de aire y humedad, por lo cual se aplica el programa Arduino, se utilizará las placas de Arduino 1, sensores de temperatura y humedad DHT22. En los resultados obtenidos en el producto seco (quinua seca) con los parámetros deseados un tiempo reducido y real y así se logró optimizar el proceso para secar grano de quinua (chenopodium quinoa willd) des saponificada y obtener materia prima para otros procesos.
PALABRAS CLAVE: Controlador PID, sensores, optimización, alimentos, estandarización.

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A FLUIDIZED BED WITH TEMPERATURE, AIR FLOW AND HUMIDITY CONTROL (PID) FOR QUINOA GRAINS (Chenopodium quinoa willd)

ABSTRACT: The present research work was carried out with the objective of designing and implementing a controlled fluidized bed (PID) that contains temperature sensors, hot air flow and humidity to dry saponified quinoa grain (chenopodium quinoa willd). It is carried out in order to optimize and standardize the dehydration process with the normalized parameters according to the specific CODEX standard. And the methodology consists of programming the temperature sensors at 55 °C, air flow and humidity, for which the Arduino program is applied, the Arduino 1 boards, DHT22 temperature and humidity sensors will be used. In the results obtained in the dry product (dry quinoa) with the desired parameters, a reduced and real time and thus it was possible to optimize the process to dry desaponified quinoa grain (chenopodium quinoa willd) and obtain raw material for other processes.
KEYWORDS: PID controller, sensors, optimization, food, standardization.

INTRODUCCIÓN

El control de la temperatura, flujo de aire en el proceso y la humedad en los alimentos es muy importante para optimizar el proceso y alargar la vida de anaquel evitando la proliferación de microorganismos que son los principales que deterioran y que exista cambios fisicoquímicos y organoléptico en los alimentos.

Resulta de vital importancia eliminar la humedad del grano para garantizar éxito en su almacenamiento por ciertos periodos de tiempo o su posterior uso en la alimentación o con fines de semilla para la siembra es por ello resulta importante el estudio del proceso de secado, evitando así que los granos húmedos constituyan un medio ideal para el desarrollo de microorganismos y conservar las propiedades germinativas del mismo.

Es por ello el uso de controladores es transcendental porque se van a encargar de mantener los procesos en un estado estable, cabe mencionar que, si el sistema se le presentaran variaciones, estos controladores por medio de parámetros de sintonización y funciones de transferencia van a estabilizar todo el sistema, obteniendo así el mismo punto de operación característico de un sistema estable.

Con el fin de implementar en los laboratorios de la industria alimentaria teniendo en cuenta que el proceso de análisis de humedad en alimentos requiere mayor tiempo

aplicando métodos como secado por estufa, secado en estufa por vacío, por lo cual al implementar este sensor se optimizará el tiempo y de esta forma se tendrá resultados en tiempo real, teniendo en cuenta que el control de la temperatura, fluido de aire y humedad necesaria durante todo el proceso de la producción alimentaria, permitiendo garantizar la calidad del producto elaborado.

Por eso que en esta investigación formativa se propone realizar el diseño e implementación de un lecho fluidizador con control (PID) que contiene sensores de temperatura, flujo de aire caliente y humedad para granos de quinua (chenopodium quinoa willd).

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales para la construcción del deshidratador

- Cables de conexión
- Pernos (10 unidades)
- Sensor de temperatura
- Sensor de humedad – DHT22
- Sensor de fluidos
- Panel de control
- Placa Arduino 1
- Potenciómetro
- Pantalla LCD

Materiales de escritorio

- Laptop con programas de AUTOCAD, programación ARDUINO
- Cuaderno
- Lapicero

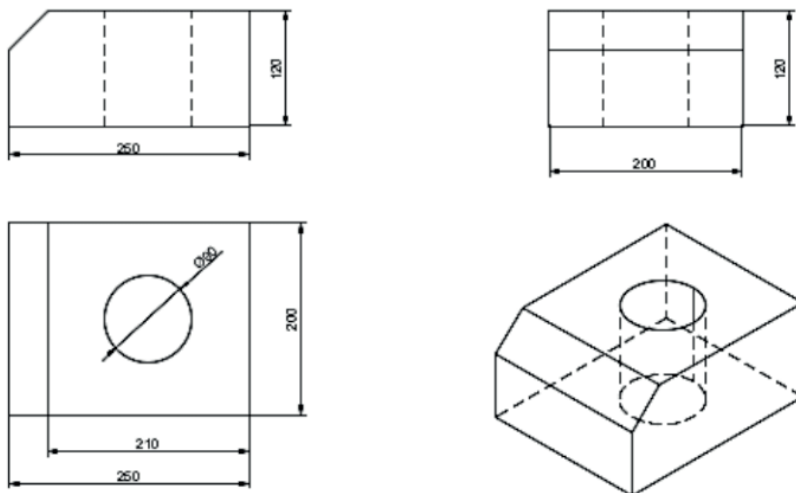
Materia prima

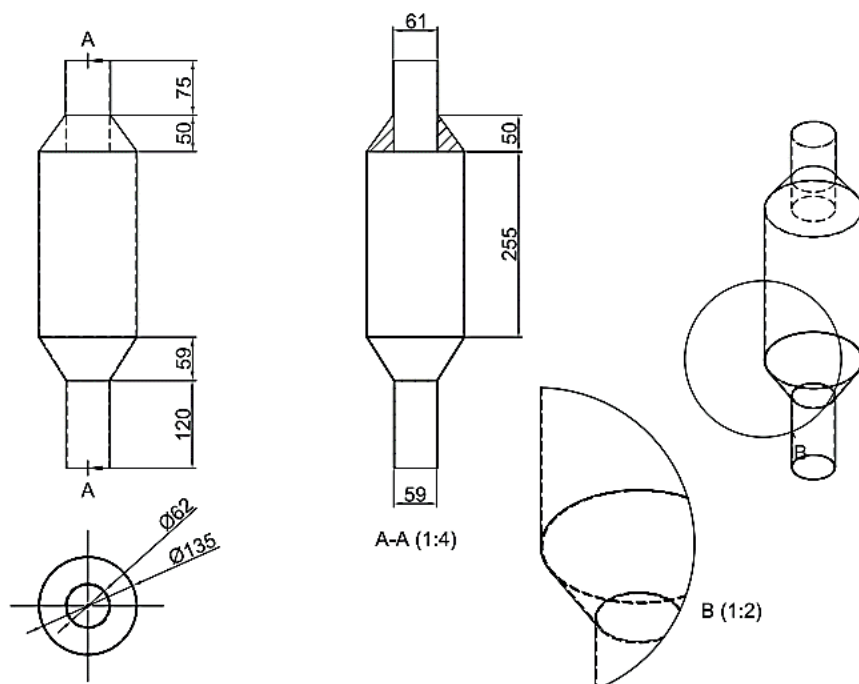
- Granos de quinua

METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Diseño del secador de lecho fluidizado con control PID

Diseño de la estructura base.

La estructura base del secador de granos de quinua se diseñaron en el programa Auto CAD 2020, con la finalidad de construir del lecho fluidizado implementado con control PID.

Diseño de la estructura de reactor de columna cilíndrica de acero inoxidable.

Según (CALA, 2007), inicialmente se construyó la instalación experimental con una altura de 50 cm y forma cilíndrica para un mejor diseño de rejilla. El diseño del reactor de columna se muestra a continuación:

Programación Arduino

La programación en plataforma Arduino consiste en traducir a líneas de código las tareas automatizadas que queremos hacer leyendo de los sensores y en función de las condiciones del entorno programar la interacción con el mundo exterior mediante unos actuadores.

El Arduino proporciona un entorno de programación sencillo y potente para programar, pero además incluye las herramientas necesarias para compilar el programa y "quemar" el programa ya compilado en la memoria flash del microcontrolador. Además, el IDE nos ofrece un sistema de gestión de librerías y placas muy práctico. Como IDE es un software sencillo que carece de funciones avanzadas típicas de otros IDEs, pero suficiente para programar. (Arduino, .d.)

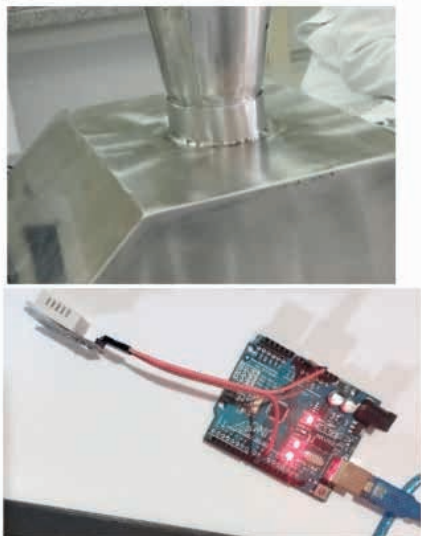



Imagen 1. Secador externo, sensores de humedad y Arduino

Imagen 2. Muestra de granos y supervisión de variables en línea.

RESULTADOS

AUMENTO DE FLUJO DE AIRE		DISMINUCION DE FLUJO DE AIRE	
Velocidad	*Presión*	*Velocidad final*	*Presión*
0,036	0,7	1,145	5,3
0,094	0,9	1,276	5,3
0,123	*1*	1,290	6,1
0,159	1,2	1,493	6,4
0,174	1,4	1,247	5.4
0,203	1,6	1,029	5
0,254	1.9	0,718	4,1
0,261	2,1	0,471	3,6
0,304	2,3	0,391	3,2
0,312	2,4	0,283	2,3

Tabla 01. Datos tomados de aumento y disminución de flujo de aire para la determinación de la velocidad mínima de fluidización.

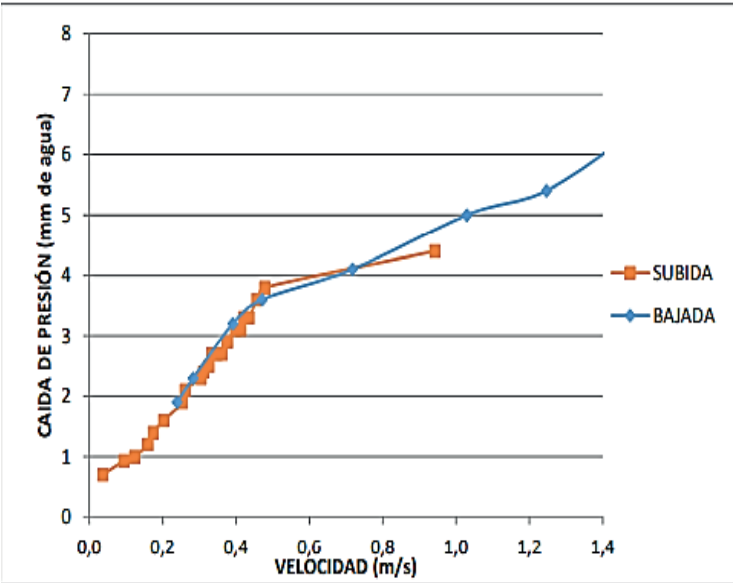



Figura 01. Curvas de caída de presión contra velocidad para un diámetro de 13.5 cm y altura de 25 cm.

La velocidad de arrastre de las partículas de mayor tamaño de la quinua se produce a una velocidad de 6,1 m/s pero para las partículas de menor diámetro el arrastre comienza a manifestarse a velocidades mayores a 5,5 m/s.

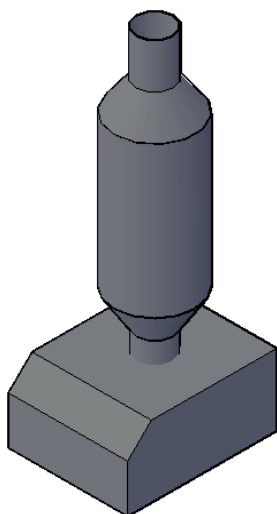



Imagen 3. Estructura de secador de lecho fluidizado para los granos de quinua

HUMEDAD 1 (%HR)	HUMEDAD 2 (%HR)	HUMEDAD 3 (%HR)	TEMPERATURA 1 (Â°C)	TEMPERATURA 2 (Â°C)	TEMPERATURA 3 (Â°C)
71.74	16.57	84.17	23.02	46.91	25.86
71.46	16.25	84.1	23	47.48	25.86
71.14	15.91	83.95	23.02	48.07	25.85
70.82	15.5	83.61	23.03	48.66	25.85
70.53	15.24	83.21	23.03	49.23	25.85
70.24	14.91	82.72	23.02	49.82	25.85
69.94	14.62	82.21	23.02	50.39	25.85
69.67	14.46	81.66	23.03	50.93	25.83
69.34	14.2	81.13	23.05	51.47	25.81
69.07	13.92	80.57	23.03	52.01	25.75
68.76	13.74	80.06	23.06	52.48	25.75
68.49	13.56	79.64	23.07	52.97	25.72
35.44	13.81	29.64	22.68	48.13	37.17
35.45	13.81	29.59	22.71	48.38	37.18
35.47	13.77	29.54	22.69	48.68	37.18
35.45	13.62	29.72	22.66	49.07	37.18
35.49	13.53	29.68	22.68	49.52	37.21

35.49	13.49	29.67	22.66	49.99	37.22
35.53	13.35	29.94	22.64	50.25	37.22
35.49	13.29	30.98	22.62	50.35	37.24
35.52	13.36	31.92	22.64	50.49	37.21
35.52	13.57	33.27	22.59	50.66	37.21
35.54	13.84	34.65	22.62	50.82	37.21
35.53	13.97	35.68	22.61	51.02	37.18
35.56	14.33	36.46	22.61	51.15	37.18
35.55	14.9	36.62	22.59	51.22	37.1
35.6	15.38	34.45	22.59	51.35	37.04

Tabla 02. Datos de humedad (%HR) y temperaturas (°C) del proceso de secado de quinua (chenopodium quinoa willd).

En la tabla se observa que el valor de la humedad 1 inicial fue de 71.74 y llegando a obtener la humedad de 35.6; mientras que con la temperatura A3 se obtuvo el mínimo de 25.86 y el máximo de 37.04.

CONCLUSIONES

Con el estudio se consiguió diseñar el lecho fluidizado con la ayuda del software de Auto CAD teniendo las vistas y medidas correspondientes de cada pieza y/o partes del secador por lecho fluidizado.

La construcción del lecho fluidizado con control (PID) que contiene sensores de temperatura, flujo de aire caliente y humedad para secar grano de quinua (chenopodium quinoa willd) de saponificada, se logró terminar los valores que se buscaba con la ayuda de programación de software de Arduino, donde se determinó la temperatura y humedad de los granos de quinua los resultados óptimos y estandarizados nos pueda ayudar a que los granos de quinua no pierdan sus propiedades nutricionales y alargar su vida de anaquel.

En la programación en Arduino los sensores se conectaron a un sistema de registro de datos (como el registrador ARDUINO y con un cable en serie se descarga la información a una computadora personal. El registrador de datos ARDUINO puede aceptar varios sensores de acuerdo con el modelo usado.

REFERENCIAS

ABUNDE NEBA, F.; JIOKAP NONO, Y. **Modeling and simulated design:** A novel model and software of a solar-biomass hybrid dryer. Computers and Chemical Engineering. [S.l.]: [s.n.], 2017. Disponivel em: <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2017.04.002>.

CHO, E. et al. **Chrysanthemi on the surface of fresh produce using a 222 nm krypton – chlorine excimer lamp and 280 nm UVC light-emitting diodes. LWT, 165(May), 113710.** [S.l.]: [s.n.], 2022. Disponivel em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113710>.

DEMISSIE, P. et al. **Design, development and CFD modeling of indirect solar food dryer. Energy Procedia, 158, 1128–1134.** [S.l.]: [s.n.], 2019. Disponivel em: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.278>.

DOEBLIN, E. **Sistemas de medición, aplicación y diseño**. Nueva York: McGraw Hill Book Co, 1982.

DOEBLIN, E. **Sistemas de medición, aplicación y diseño**. Nueva York.: McGraw Hill Book Co, 1982.

EL-MESERY, H. et al. **Design of low-energy consumption hybrid dryer:** A case study of garlic (Allium sativum) drying process. Case Studies in Thermal Engineering, 33(February), 101929. [S.l.]: [s.n.], 2022. Disponivel em: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.101929>.

HOLMAN, J. **Transferencia de calor**. Novena edición. ed. Nueva York.: McGraw Hill Inc, 2001.

ISLAM, M.; TUSAR, M.; LIMON, A. **Effect of cover design on moisture removal rate of a cabinet type solar dryer for food drying application. Energy Procedia, 160(2018), 769–776.** [S.l.]: [s.n.], 2019. Disponivel em: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.02.181>.

KRABCH, H.; TADILI, R.; IDRISSI, A. **Results in Engineering Design , realization and comparison of three passive solar dryers. Orange drying application for the Rabat site (Morocco). 15(May).** [S.l.]: [s.n.], 2022.

MURALI, S. et al. **Design and performance evaluation of solar - LPG hybrid dryer for drying of shrimps. Renewable Energy, 147, 2417–2428.** [S.l.]: [s.n.], 2020. Disponivel em: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.10.002>.

VELÁSQUEZ, A. **Manual técnico de diseño y evaluación económica de secadores ambientales para hierbas aromáticas.** [S.l.]: [s.n.], 2009.

CAPÍTULO 10

ESTUDIO COMPARATIVO DE SISTEMAS DE DESGRANADO DE MAÍZ, A PARTIR DE 4 PARAMETROS BASADOS EN SOSTENIBILIDAD

Data de submissão: 07/04/2023 *Data de aceite: 02/06/2023*

Jonatan Alí Ramos Rivera
Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica, Facultad de Ingeniería
Delegación Coyoacán - Ciudad de México, México

Alejandro Cuauhtémoc Ramírez Reivich
Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica, Facultad de Ingeniería
Delegación Coyoacán - Ciudad de México, México

María del Pilar Corona Lira.
Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica, Facultad de Ingeniería
Delegación Coyoacán - Ciudad de México, México

Brandon Emmanuel Hernández Delgado
Impulsando un México Joven A.C.
Aguascalientes - Aguascalientes, México

RESUMEN: El presente trabajo tiene por propósito reportar los resultados de un estudio preliminar de viabilidad básica de bicimáquinas cómo posible alternativa para tecnificar procesos de postcosecha, con el fin de reducir los problemas productivos de la economía rural mexicana. Lo reportado aquí se centra en la tecnificación del desgranado de maíz en seco, tarea productiva presente en la gran mayoría de las comunidades agrarias mexicanas, y realizada usualmente por mujeres. La evaluación de viabilidad básica se planteó mediante un estudio comparativo de sostenibilidad entre bicimáquina, desgranado manual y sistemas mecánicos comerciales, tomando como base paramétrica las premisas de las dimensiones económica y ambiental del desarrollo sustentable/sostenible y de la tecnología apropiada según diversos autores. Los resultados obtenidos situaron a la bicimáquina en un rango de consumo energético y eficiencia productiva equiparable a un método mecanizado de alta eficiencia y en un rango de productividad que supera a los métodos manuales más empleados.

PALABRAS CLAVE: Sostenibilidad, Tecnología apropiada, Economía social y solidaria, Bicimáquinas.

COMPARATIVE STUDY OF CORN SHELLING SYSTEMS, USING 4 SUSTAINABILITY BASED PARAMETERS

ABSTRACT: The purpose of this paper is to report the results of a preliminary basic feasibility study of bicycle-based machines as a possible alternative to technify post-harvest processes, in order to reduce the productive problems of the Mexican rural economy. What is reported here focuses on the modernization of corn shelling, a productive task that is present in the vast majority of agrarian communities in Mexico. The evaluation of basic feasibility was proposed through a comparative study between a bicycle-based machine, manual shelling methods and commercial mechanical systems, taking the premises of the economic and environmental dimensions of sustainable/sustainable development and appropriate technology according to various authors, as a parametric basis. The results obtained placed the bike-machine in a range of energy consumption and production efficiency comparable to a high-efficiency mechanized method and in a productivity range that exceeds the most commonly used manual methods.
KEYWORDS: Sustainability, Appropriate technology, Social and solidarity economy, Bicycle-based machines.

1 | INTRODUCCIÓN

Durante la segunda mitad del siglo XX y estas primeras décadas del siglo XXI, el florecimiento, masificación y auge del fenómeno de la globalización, ha conllevado una acelerada apertura del mercado mexicano y una llegada masiva de inversión extranjera, generando a su vez la llegada de avances tecnológicos y científicos a México; pero provocando en el proceso una desintegración entre la identidad social y productiva en los sectores medio y bajo de la población, que ha afectado principalmente al sector rural. Debido a que en México la formación de cadenas productivas integradas económicamente con el mercado mundial, predominantemente con el norteamericano, ha permitido a las urbes (regiones con capacidad de incorporar tecnologías) dar saltos enormes en cuanto a crecimiento y desarrollo, pero en contraste, ha generado una enorme brecha con las regiones rurales agrarias, las cuales están menos integradas a dicho esquema económico, cuya tendencia es un enfoque cada vez más centrado en la automatización y desarrollos tecnológicos para producción a escalas industriales; haciendo resentir en dichas comunidades una marcada desigualdad tecnológica que termina agudizan un dialelo de marginación (en términos productivos) en el que las comunidades rurales mexicanas llevan atrapadas varias décadas (Verhulst et al, 2017; CEDRSSA, 2018; CONEVAL, 2017; SAGARPA & FAO, 2014); caracterizado entre otras cosas por una marcada migración de las personas en edad laboral, que termina obliterando la capacidad de las comunidades de lograr estabilidad y bienestar social (Carton, 2009).

En este artículo se presentan los primeros resultados de la evaluación preliminar de viabilidad básica, de las bicimáquinas cómo alternativa para la tecnificación del entorno rural agrario mexicano, abordando el caso de estudio de la tecnificación de la tarea específica

del desgranado de maíz. La evaluación preliminar de dicha viabilidad básica se planteó con base a una comparativa de 4 parámetros (Productividad teórica, Costo, Eficiencia productiva y consumo de energía) entre bicimáquina, métodos de desgranado manual y sistemas comerciales a base de gasolina y/o electricidad que ejecuten la misma tarea. Para efectos este artículo los alcances quedaron delimitados al desgranado del maíz, en primera instancia debido a que esta es una de las tareas productivas que se encuentra presentes en la mayoría de las comunidades agrarias mexicanas, y solo a los 4 parámetros mencionados. Estos parámetros se eligieron de forma cualitativa con base en las premisas de la dimensión económica y de la dimensión ambiental del desarrollo sustentable, así como de las características de la tecnología apropiada según autores cómo Teitel, Bowonder, Jéquier & Blanc, Wicklein, Akubue, Fisher y Murphy, entre otros (Blanco, 2018).

El artículo está estructurado de la siguiente manera: En las secciones 2 y 3, correspondientes a antecedentes y marcó técnico (respectivamente), se abordan una serie de temas de interés que contextualizarán el propósito y metodología del trabajo; en la sección 3, se describen los objetivos del trabajo en particular, así como la metodología y datos cuantitativos de interés empleados en el mismo; la sección 4 "estudio comparativo", se presentan los resultados arrojados por la comparativa de los parámetros establecidos entre los sistemas planteados; finalmente en la sección 5, se enuncian las conclusiones inherentes a los resultados obtenidos y a las observaciones recabadas a lo largo del trabajo.

2 | ANTECEDENTES

2.1 Tecnología apropiada

Hazeltine & Bull (2003) proponen la siguiente definición de tecnología apropiada (TA): "Cualquier objeto, proceso, idea o práctica que mejore la realización humana a través de la satisfacción de las necesidades humanas"; considerándose, además, que una tecnología es apropiada cuando es compatible con las condiciones culturales y económicas locales (es decir, los recursos humanos, materiales y culturales de la economía), y utiliza recursos materiales y energéticos disponibles localmente, con herramientas y procesos mantenidos y controlados operacionalmente por la población local". Sin embargo, no existe una definición que desde la ontología formal denote concretamente lo que es una tecnología apropiada; pero un gran número de autores cómo Simón Teitel, Bowonder, Nicolas Jéquier & Gérard Blanc, Robert Wicklein, Anthony Akubue, Martin Fisher y Heather Murphy, entre otros, han acuñado a lo largo de los años una serie de criterios que delimitan las características distintivas que una tecnología apropiada debe cumplir para considerarse como tal (Blanco, 2018). Más allá de las variaciones en los criterios de los diversos autores, producto de las diferencias en el contexto sociocultural, histórico e historiográfico de estos, dichas características se enfocan más que nada en la noción de mejorar la sostenibilidad de una tecnología bajo los contextos particulares de los países en vías de desarrollo, y a grandes

rasgos han podido resumirse y agruparse a aspectos socioculturales, productivos, técnicos, de manufactura, de operación y mantenimiento, de mano de obra, medioambientales y económicos, tal cómo se ilustra en la Figura 1 (Blanco, 2018; Thomas, 2009).

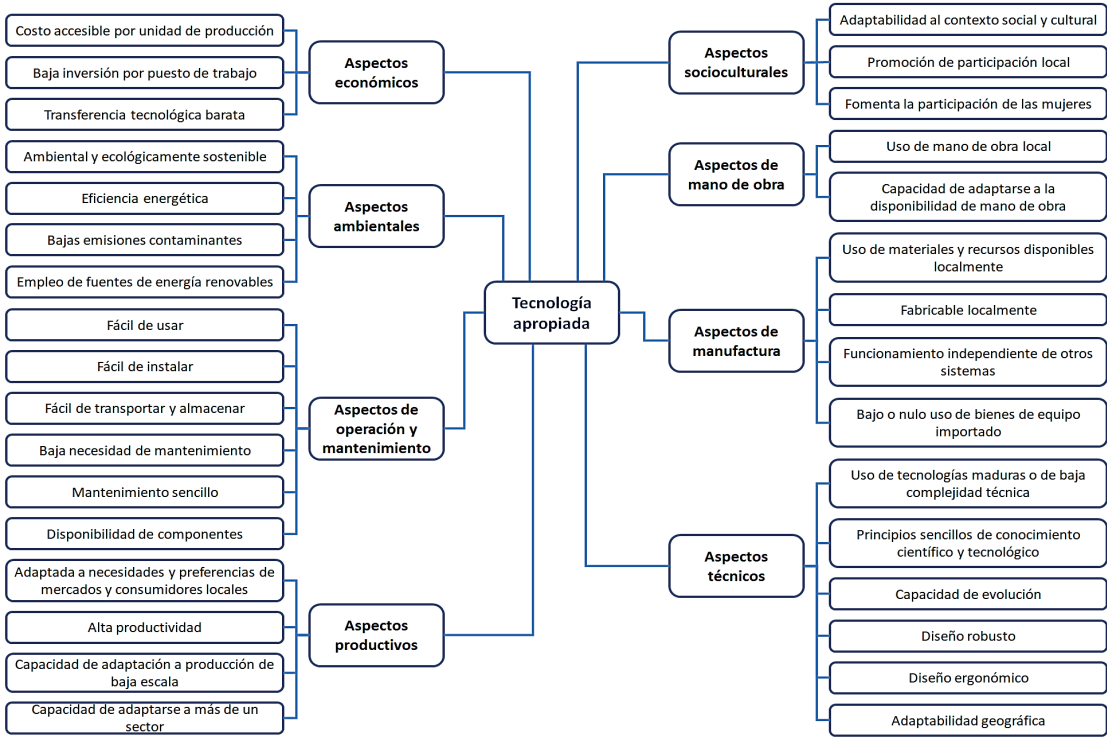



Figura 1 - Características de una tecnología apropiada.

Fuente: Blanco, 2018; Thomas, 2009

2.2 Economía Social Solidaria (ESS)

Según autores cómo García (2017) y Collín (2008), una definición sencilla de economía social y solidaria (ESS) describe este concepto como el conjunto de prácticas socioeconómicas colectivas e individuales, que priorizan la satisfacción de las necesidades y las aspiraciones de sus miembros y/u otras personas por encima del lucro, independientemente de si estas prácticas se realizan bajo esquemas formales o informales (Fraga, 2021). Sin embargo, según Contipelli & Nagao (2017), evidentemente esquemas cómo la economía social solidaria, en la realidad no actúan en un campo fuera del capitalismo y del mercado formal; por lo cual los emprendimientos y demás iniciativas bajo esquema social y solidario y paradigmas afines (economía circular, innovación social, economía colaborativa, economía del bien común), aunque representen modelos alternativos de desarrollo económico siempre tendrán puntos de contacto con la economía de mercado y por tanto no hay forma en que puedan romper definitivamente con el capitalismo.

2.3 Convergencia entre ta y ESS

Dicho lo anterior, de entre los puntos de convergencia que comparten la tecnología apropiada con la economía social y solidaria (y otros esquemas afines) resulta de particular interés el de “la escala o de nivel de producción”, dado que ambos conceptos se enfocan en la pequeña escala; considerando que las bases para solucionar a corto plazo problemas muy frecuentes en las comunidades en situación de pobreza como el desempleo, la escasez de recursos naturales y la degradación ambiental, se encuentran en la operación de pequeñas organizaciones como familias, pequeños grupos de comunidades y microempresas (Fraga, 2021). Decimos que resulta de interés, dado que las organizaciones de la economía social y solidaria que existen en México como cooperativas, comunidades y ejidos, en la práctica han adoptado este rasgo característico de ambos conceptos junto con el principio de solidaridad, tal cual menciona Fraga (2021).

2.4 Desarrollo sostenible / sustentable

El concepto de desarrollo sustentable se encuentra en constante evolución desde el surgimiento de su definición formal en 1987 a través del “Informe Brundtland”, sin embargo, según la Comisión Mundial del Medio Ambiente, puede enunciarse cómo: “El esquema de desarrollo encaminado a satisfacer las necesidades de la generación presente, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer Los fundamentos de un desarrollo sustentable, se cimentan dentro de 3 dimensiones principales (Figura 2):

- Social: Atiende al fortalecimiento de los aspectos relacionados con la calidad de vida de las poblaciones, tales como la identidad comunitaria, inclusión, estabilidad demográfica, derechos humanos y condiciones laborales, entre otros.
- Ambiental: Atiende al fortalecimiento de un equilibrio, en términos ecológicos, entre las actividades humanas y la preservación de la biodiversidad y de los ecosistemas.
- Económica: Atiende al fortalecimiento de la rentabilidad y eficiencia con la que los humanos producen, transforman, distribuyen, intercambian y consumen, los recursos materiales y/o financieros con los que satisfacen sus necesidades.

Figura 2 - Dimensiones del desarrollo sustentable.

Fuente: Lira, 2018

Cabe mencionar que, si bien es generalmente aceptado que los conceptos "desarrollo sustentable" y "desarrollo sostenible", son etimológicamente equivalentes. A partir de diversa literatura (incluyendo el propio informe Brundtland), en un sentido más estricto se puede inferir que ambos conceptos difieren solo en el orden de importancia que cada uno de los 2 conceptos les otorga intrínsecamente a las 3 dimensiones, siendo que en el desarrollo sustentable prepondera la dimensión ambiental, mientras que en el desarrollo sostenible prepondera la dimensión económica, dicha relación se esquematiza en la Figura 3 (Barkin, 1998; Marten, 2001; Zarta, 2018).

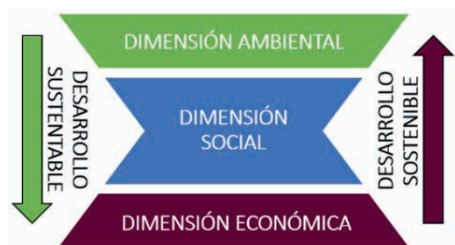



Figura 3 - Desarrollo sostenible y desarrollo sustentable.

Fuente: Barkin, 1998; Marten, 2001; Zarta, 2018

3 I MARCO TÉCNICO

3.1 Desgranado del maíz

Además del uso de utensilios, implementos y máquinas, existen una gran cantidad de técnicas y métodos para desgranar maíz, que pueden tener incluso variaciones dependiendo de la región de México a la que se haga alusión (International Labour Organization, 1984).

3.1.1 Métodos manuales

Método manual mediante pulgares: Este es el método más simple y tradicional para desgranar (Figura 4A); consiste en desprender los granos aplicando presión con los pulgares (Castelán & Vázquez, 2017).

Figura 4 – Desgranado a mano mediante: (A) pulgares; (B) fricción entre mazorcas.

Método manual mediante fricción de 2 mazorcas: Consiste en desprender los granos frotando 2 mazorcas, o bien una mazorca y un olote, entre sí (Figura 4B). Tiene casi las mismas ventajas y desventajas (Tabla 1) que el método manual mediante pulgares (Castelán & Vázquez, 2017); sin embargo, si bien es menos dañino para los dedos del trabajador, también es más fácil romper los granos al emplearlo, por lo que ofrece una integridad de grano un poco menor. Cabe mencionar que, en la mayoría de los casos, la técnica manual general, consiste en combinar esta técnica con la de pulgares.

Ventajas	Desventajas
● Alta precisión. ● Alta integridad de grano. ● Posibilidad de separar los granos en estado de descomposición durante desgrane.	● Bajo rendimiento en relación con otros métodos. ● Requiere mano de obra intensiva para grandes cosechas. ● El rendimiento depende en gran medida de las características del maíz, así como de la experiencia y pericia del trabajador.

Tabla 1. – Características del desgranado manual

Método manual mediante utensilios (Piedra, olotera, tabla de grapas): Este método consiste en desprender los granos frotando las mazorcas contra piedras, o bien contra utensilios que usualmente manufacturan los propios trabajadores, tales como oloteras (Figura 5) o tablas incrustadas con grapas (Castelán & Vázquez, 2017).

Ventajas	Desventajas
● Rendimiento alto en relación con métodos manuales tradicionales. ● Bajo costo de manufactura.	● Solo se pueden usar adecuadamente cuando el maíz está lo suficientemente seco. ● La pericia y experiencia del trabajador son factor de influencia en la integridad del grano. ● Pueden producir daños en dedos, tales como cortaduras, golpes o machucones.

Tabla 2 – Características del desgranado manual mediante utensilios

Figura 5 – Desgranado mediante olotera.

3.1.2 Métodos mecanizados

Desgranado mediante implementos manuales: Existen algunos desgranadores manuales rotativos construidos mediante madera, piezas de fundición o bien perfilería de acero (Castelán & Vázquez, 2017).

Ventajas	Desventajas
● Menor esfuerzo. ● Menor tiempo en relación con otros métodos manuales. ● Buena integridad de grano después de la operación de desgranado.	● No se pueden adaptar a mazorcas que tengan una diferencia de tamaño muy grande. ● Conllevan riesgos ergonómicos a la larga, dado que no permiten al usuario colocarse en la postura correcta.

Tabla 3 – Características del desgranado mediante implementos manuales

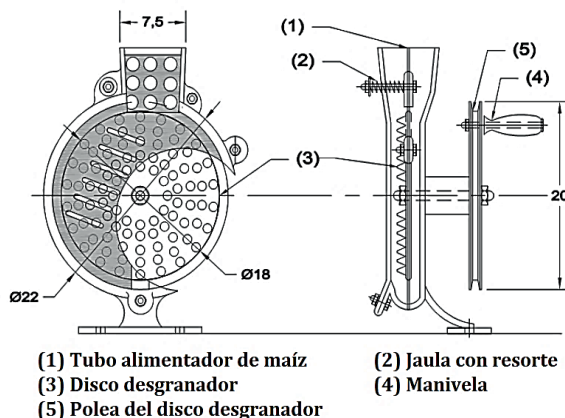



Figura 6 – Estructura usual de implemento manual.

Fuente: El Helew, 2017

Desgranado mediante máquinas manuales: Dentro de las desgranadoras sin motor, estas son de las de mayor rendimiento cantidad-tiempo, funcionan mediante una manivela, replicando los principios de los implementos manuales. Su manufactura, comienza a asemejarse a las máquinas de motor, aunque solo en volumen de material empleado y dimensiones, dado que no se acercan al rendimiento por hora de estas. Actualmente es difícil encontrar quien las manufacture y las comercialice en México.

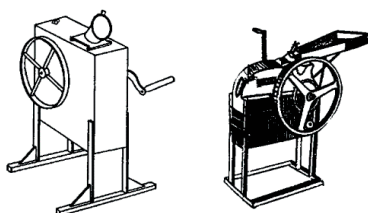



Figura 7 – Máquina desgranadora manual.

Fuente: International Labour Organization, 1984.

Desgranado mediante máquinas eléctricas y a gasolina: Estas máquinas son de las de mayor rendimiento, normalmente funcionan con motores eléctricos (1 a 7 hp), o bien con motores (generalmente OHV) a gasolina (4 a 16 hp), la potencia aumenta en función de la cantidad de cosecha; su capacidad oscila entre 700 y 5000 kg/h; siendo las máquinas eléctricas más eficientes (Castelán & Vázquez, 2017).

Figura 8 – Máquina desgranadora mecánica: (A) a gasolina; (B) eléctrica.

Fuente: https://www.bomeri.com

Ventajas	Desventajas
● Alto rendimiento horario. ● Separan el maíz del tamo. ● Requiere de poca mano de obra.	● Solo son factibles económicamente para cosechas superiores a 50 toneladas. ● El costo de estas máquinas es elevado. ● Alto riesgo de descomposturas por exposición a factores medioambientales. ● No existe una separación de los granos dañados por humedad o que se encuentran infestados por insectos o gusanos. ● En algunos casos el olote se tritura o fractura y se combina con los granos y su separación es difícil. ● Alto riesgo de intoxicaciones por CO_2 si no se da mantenimiento adecuado.

Tabla 4 – Características del desgranado mediante máquinas eléctricas y a gasolina.

3.2 Energía de propulsion humana

La energía motriz humana, es una de las fuentes de energía renovable de uso más frecuentes. Curiosamente la potencia humana y su aprovechamiento es un área poco investigada en relación con otras energías renovables.

Autor	Año	Potencia disponible (Watts)
Bahaley et al.	2012	60 - 90
Gradjean	1988	75
Fuller y Aye	2012	75 - 150
Avallone et al.	2007	50 - 150
Tiwari et al.	2011	60
Gilmore	2008	65 - 90

Tabla 5 – Potencia mecánica humana en pedaleo.

Entre los autores que han estudiado y estimado la potencia motriz humana y su

aprovechamiento mecánico, existen discrepancias, en la tabla 5 se resumen los resultados obtenidos por algunos autores, respecto a la potencia mecánica disponible, para mecanismos tipo bicicleta, en intervalos de pedaleo superiores a una hora ejecutados por adultos promedio (Ruiz Rivas et. al, 2017). Análogamente, diversos autores estudiaron la potencia mecánica que un humano puede desarrollar empleando los brazos (Tabla 6) y todo el cuerpo (Tabla 7).

Autor	Año	Potencia disponible (Watts)
Gilmore	2008	15 - 30
Kennedy y Rogers	1985	30
Fraenkel	1986	30

Tabla 6 – Potencia mecánica humana empleando solo los brazos

Autor	Año	Potencia disponible (Watts)
Mack y Haslegrave	1990	10 - 55
Kennedy y Rogers	1985	40 - 50

Tabla 7 – Potencia mecánica humana empleando solo brazos y cuerpo

4 I DESCRIPCIÓN DE OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

4.1 Objetivos

Evaluación preliminar de la viabilidad de un sistema de desgranado de maíz a base de bicimáquinas.

- Dimensión económica: Viabilidad preliminar en términos de productividad, costo y eficiencia productiva.
- Dimensión ambiental: Viabilidad preliminar en términos de la energía consumida.

4.2 Metodología

4.2.1 Diseño y manufactura

Empleando un proceso básico de diseño de tecnología apropiada (Fig. 9) (Sianipar et al, 2013), a partir de la limitación de diseño de una máquina que no requiera combustibles y/o energía eléctrica, se desarrolló un prototipo de desgranadora, basado en la estructura funcional de una máquina comercial, evaluando la sustitución de su fuente energética, de un motor eléctrico o a gasolina, por una bicimáquina (Fig. 10 y Fig. 12).

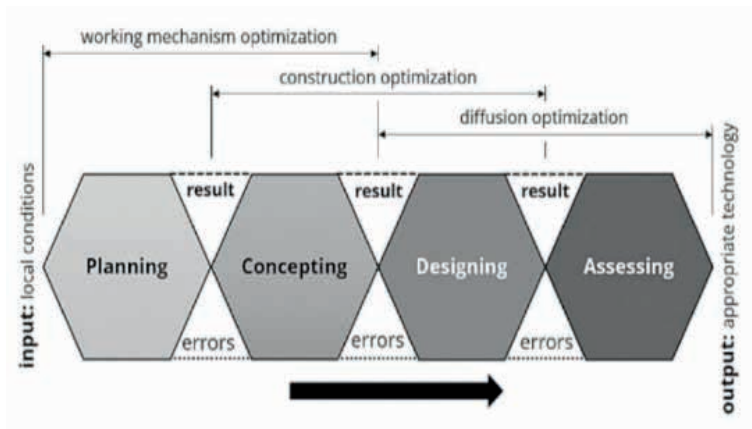



Figura 9 - Proceso básico de diseño para tecnologías apropiadas.

Fuente: Sianipar et al, 2013

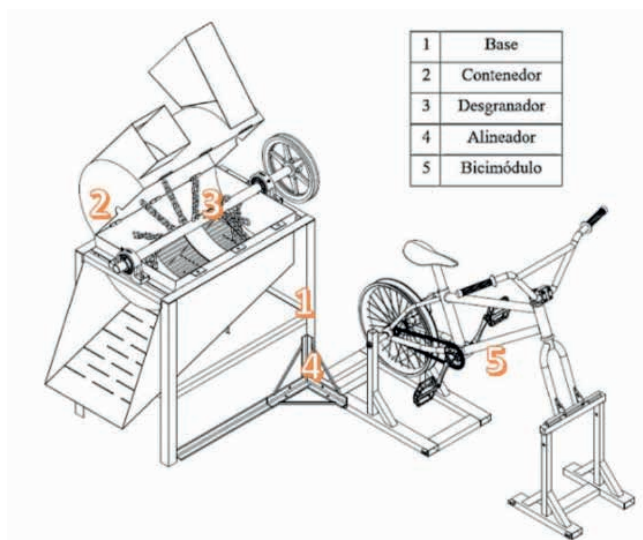



Figura 10 – Esquema del prototipo.

Efectuando una serie de iteraciones y fases de mejora (Fig. 11A y 11B), basadas en las observaciones hechas por 17 usuarias.

Figura 11 – Prototipo del módulo funcional: (A) Manufactura inicial; (B) Fases de mejora.

Figura 12 – Prototipo: (A) Bicimódulo; (B) Módulo de proceso.

4.2.2 Descripción de pruebas

Los testeos del prototipo consistieron primeramente de pruebas preliminares, cuyo propósito era encontrar la combinación de piñón-estrella de la bicicleta y el tiempo que debe procesarse una medida determinada de mazorcas, dentro de la máquina, para lograr un desgranado con la máxima integridad de grano posible, para lo cual se eligieron algunos de los tipos de maíz más comunes (Fig. 13) de la región Occidente, y Centronorte del país (Ron Parra et. al, 2006), uno de los cuales (Ancho) también es bastante común en la región Centrosur. Se logró la obtención promedio de un daño visible en granos (D_V(%)) menor al 10%, con base en la masa de granos rotos (G_R(kg)) y a la masa total de granos (G_T(kg)), calculado en base a la fórmula 1 (El Helew, 2017).

Figura 13 – Tipos de maíz: (A) Ancho; (B) Pozolero colorado; (C) Pinto.

$$\boldsymbol{D_V}(\%) = \left(\frac{\boldsymbol{G_R(kg)}}{\boldsymbol{G_T(kg)}}\right) \cdot \mathbf{100} \qquad \boxed{1}$$

Posteriormente se realizaron pruebas para evaluar el rendimiento de la máquina,

en las que participaron 17 mujeres, las cuales consistieron en medir la masa de grano que estas desgranaban en 1 ciclo de carga (duración entre 25 y 45 segundos, 20 a 40 mazorcas por cubetada). También se realizó una prueba de desgranado mediante métodos manuales (Fig. 4A y 4B), con 7 mujeres, así como una prueba con olotera (Fig. 5), todas realizadas por personas con experiencia en dichas tareas.

4.2.3 Características productivas

De los resultados se proyectó la productividad teórica (R_T) en kg/h, tanto de la bicimáquina (Fig. 14), cómo de los métodos manuales (Fig. 15), a partir de la masa de maíz desgranado (M_G) en kg y al tiempo neto de desgranado (T_D) en horas; empleando la fórmula 2 (El Helew, 2017).

$$R_T\left(\frac{kg}{h}\right) = \left(\frac{M_G(kg)}{T_D(h)}\right) \cdot 100 \quad \boxed{2}$$

Para la bicimáquina se obtuvieron rendimientos promedio de 172 kg/h con maíz ancho; 200 kg/h con maíz pozolero colorado y 246 kg/h con maíz colorado (Figura 14).

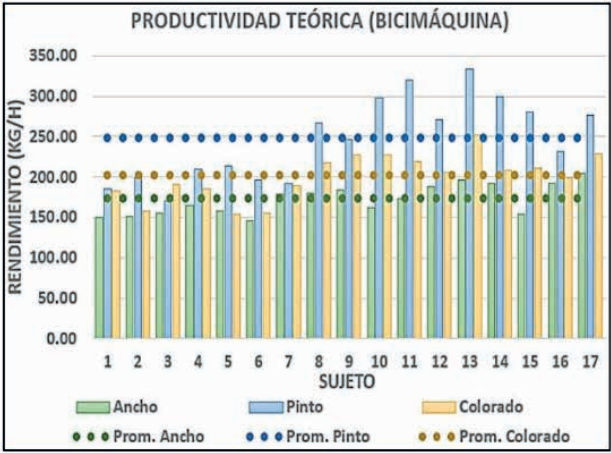



Figura 14 – Productividad teórica (Bicimáquina).

En desgranado a mano, se obtuvieron rendimientos promedio de 28.26 kg/h con maíz ancho, 16.98 kg/h con maíz pozolero colorado y 16.19 kg/h con maíz pinto; en el desgranado mediante olotera se obtuvieron rendimientos de 80.35 kg/h con maíz ancho, 48.07 kg/h con maíz pozolero colorado y 57.14 kg/h con maíz pinto.

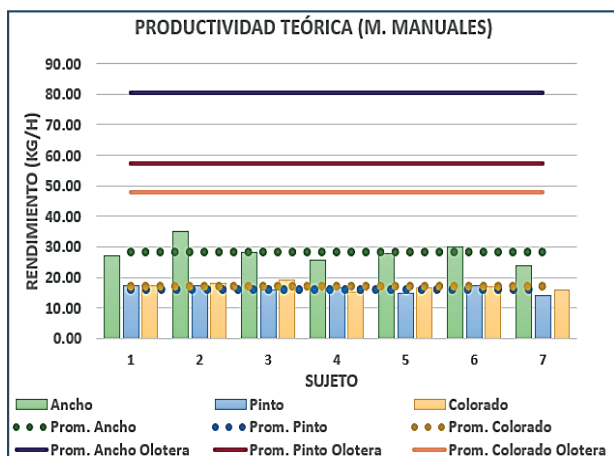



Figura 15 – Rendimientos promedio proyectados, métodos manuales.

Para implementos manuales (Tabla 10), así como para las máquinas comerciales manuales (Tabla 8) con motor a gasolina (Tabla 9) y con motor monofásico (Tabla 11), se consideraron los rendimientos y características de los modelos básicos disponibles en el mercado mexicano, ofertados por diversos proveedores.

Marca	Modelo	Producción (kg/h)	Precio (mxn)
IH Mccormic	Pony	80 - 100	$5,000 - $16,000
Penagos	DM2	85	$7,000
John Deere	1B	150 - 200	$4,100 - $9,500

Tabla 8 – Características de implementos manuales.

Marca	Modelo	Potencia (Hp)	Producción (kg/h)	Precio (mxn)
Swissmex	612010	6.5	1500	$19,862
Azteca	501370	4	1500	$16,297
Raiken	RKDM1800	6.7	1700	$14,131
Arenas	D1750	5.5	1750	$14,319
Fumasa	DM-1800	5.5	1800	$13,351
Avante	G-1000	4	700	$12,998
Matep	DP1500	5.5	1500	$12,150
Matep	DP1800	6.5	1800	$14,850
Bomeri	DESG2	5.5	1500	$13,700
Macroffi	DESG03	6.5	1000	$14,165
Antarix	DL1800K6	6	1205	$16,171

Tabla 9 – Características de máquinas desgranadoras comerciales a gasolina.

Marca	Modelo	Producción (kg/h)	Precio (mxn)
Luma	492251	60	$1,672
Raiker	JIM-002	50	$1,450
Balfe	PTD-012	50	$1,215
Tecsa	Narpad	45	$1,425
Mekatech	MKT-DSGM-1R	50	$1,300
Gallo	DMG	60	$1,200

Tabla 10 – Características de implementos manuales

Marca	Modelo	Potencia (Hp)	Producción (kg/h)	Precio (mxn)
Swissmex	612001	2	1500	$19,862
Azteca	501390	2	1500	$16,297
Raiken	RKDM1800W1	1	1000	$11,707
Raiken	RKDM1800W1.5	1.5	1500	$12,111
Raiken	RKDM1800W2	2	2000	$12,927
Arenas	D1750	1.5	1500	$12,000
Arenas	D1750	2	2000	$13,351
Fumasa	DM-1800	2	1800	$13,351
Avante	G-1000	1	700	$12,500
Matep	DP1500	2	1500	$12,150
Bomeri	DESG2E	2	1500	$11,100
Macroffi	DESG02	2	1000	$14,383
Antarix	DL1800S1	1	1205	$13,589

Tabla 11 – Características de máquinas desgranadoras comerciales eléctricas

4.2.4 Costo de manufactura del prototipo

Para comparar los precios de los productos, se desglosó el costo de manufactura del prototipo (Tabla 12), considerando los siguientes costos:

Costos directos: Costos asociados directamente a los materiales y su transformación (Tabla 13 y Tabla 14).

Subsistema		Directos (mxn)	Indirectos (mxn)	Utilidad (mxn)	Costo (mxn)
1	Base	$581	$87	$100	**$768**
2	Contenedor	$1,910	$287	$330	**$2,527**
3	Desgranador	$1,711	$257	$295	**$2,263**
4	Alineador	$360	$54	$62	**$476**
5	Bicimódulo	$1,925	$289	$332	**$2,546**
				Total	**$8,580**

Tabla 12 – Costo del prototipo

Costo	Descripción	Consideraciones
Materiales (Mat)	1.- Aceros comerciales y reciclados. 2.- Piezas mecánicas 3.- Partes de bicicleta 4.- Otros insumos	1.- Perfiles, láminas, tubos. 2.- Bandas, poleas, cadenas, chumaceras. 4.- Pintura, tornillería, soldadura.
Mano de obra (M.O.)	5.- Salario real del personal que ejecuta una tarea entre su rendimiento por jornada .	5.- Calculado de acuerdo con ; Salario nominal igual al salario mínimo según la ley federal del trabajo ($172.87 mxn); Factor de salario real (FSR) de 1.35;
Desperdicios y desgaste (D.D.)	6.- Fabricación 7.- Maquinaria 8.- Herramienta 9.- Eq. de seguridad	6.- 5% del costo del material 7.- 4% del costo de M.O. 8.- 3% del costo de M.O. 9.- 3% del costo de M.O.

Tabla 13 – Descripción de costos directos

$$M_o = \frac{S_r}{R_j} = \frac{S_n \cdot F_{SR}}{Unidades\ por\ jornada} \quad \boxed{3}$$

	Subsistema	Mat (mxn)	M.O (mxn)	D.D. (mxn)	Total (mxn)
1	Base	$386	$160	$35	$581
2	Contenedor	$1,107	$730	$73	$1,910
3	Desgranador	$1,153	$469	$89	$1,711
4	Alineador	$191	$145	$24	$360
5	Bicimódulo	$1,666	$160	$99	$1,925

Tabla 14 – Desglose de costos directos

Costos indirectos: Costos de operación no incluidos en los costos directos, tales como administración, instalaciones, imprevistos, entre otros. Los consideramos cómo un prorrateo del 15% del costo directo.

Utilidad: Ganancia proyectada por ejecución de partidas de trabajo, la consideramos 15% de la suma de los costos directos e indirectos.

4.2.5 Productividad y potencia

Para corroborar la potencia disponible suministrada al módulo de función por el bicimódulo (Fig. 10, Fig. 11 y Fig. 12), se realizó un experimento con 4 mujeres, en el que se instrumentó el módulo de función mediante los compontes de la tabla 15 (Fig. 16), siguiendo la lógica del freno de Prony; midiendo la potencia, a través de las revoluciones captadas por el sensor de RPM y el torque dinámico registrado por la celda de carga vía los

collarines. La lectura reportó una potencia media de 64 watts (Fig.17).

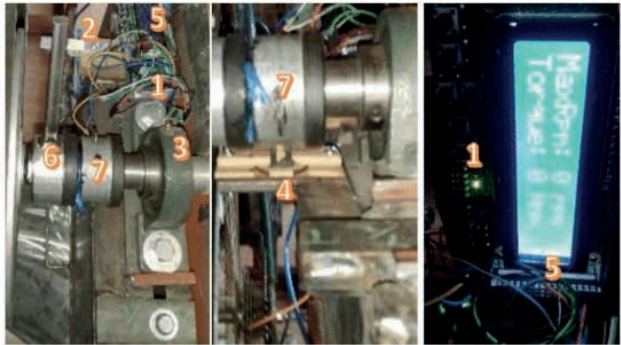



Figura 16 – Montaje de instrumentación.

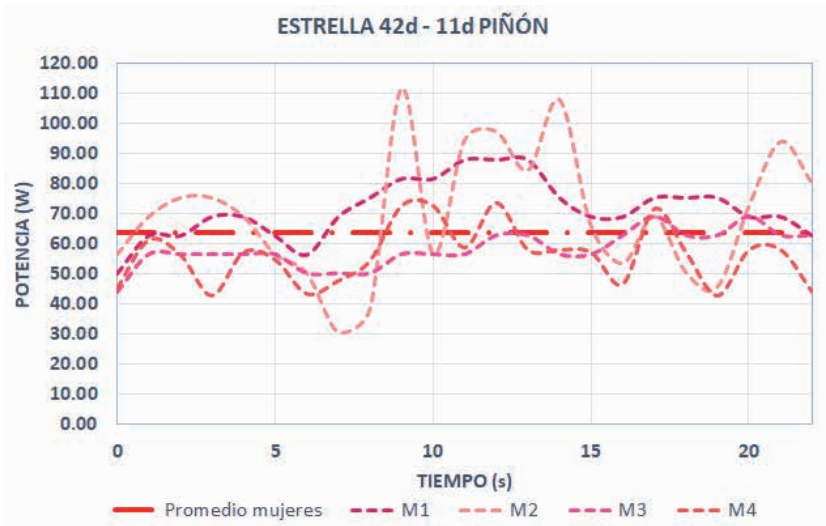



Figura 17 – Medición de potencia.

Componente	Descripción
1	Arduino Mega 2560
2	Celda de carga de 20 kg Electrocrea YZC131
3	Módulo amplificador Hx711 para celda de carga
4	Módulo sensor de RPM Tecneu LM393
5	Dfrobot Gravity Dfr0009 LCD shield para arduino
6	Collarín con palanca para celda de carga
7	Collarín con paletas para sensor de RPM

Tabla 15 – Instrumentación

Corroborados estos datos para la bicimáquina, se determinó la eficiencia productiva (Ec) de las distintas formas de desgranado, con base en la formula 4, y la energía consumida mediante la fórmula 5 (El Helew, 2017).

$$S_R\left(\frac{kg}{Wh}\right) = \frac{R_T\left(\frac{kg}{h}\right)}{P_T(W)} \quad \boxed{4}$$

$$E_C\left(\frac{kJ}{kg}\right) = \left(\frac{P_T(W)\cdot T_D(h)}{M_G(kg)}\right)\cdot 3.6 = \frac{3.6}{S_R\left(\frac{kg}{Wh}\right)} \quad \boxed{5}$$

5 I ESTUDIO COMPARATIVO

Para los cálculos se consideró la potencia y el límite superior de los rangos de productividad descritos por los proveedores de los productos comerciales, y de la potencia descrita en las tablas 5, 6 y 7, en el caso de métodos, implementos y máquinas, basados en potencia humana. Para el desgrane manual, el precio y la energía se consideraron despreciables, debido a la falta de datos en materia de potencia mecánica desarrollada por los dedos humanos.

Para el estudio, la primer comparativa se hizo entre el precio, la productividad y la eficiencia productiva (Fig. 18), la cual es un índice que en términos económicos permite darnos una idea de la razón entre los recursos obtenidos y los recursos suministrados para los diferentes productos a comparar, en este caso entre la masa de granos obtenida y la potencia requerida. La segunda comparativa se dio entre el precio, la productividad y energía consumida (Fig. 19). En ambos casos agrupando los tipos de desgranado dentro de una de las siguientes 7 categorías: Método manual, desgranado con olotera, bicimáquina, implementos manuales, máquinas manuales, máquinas eléctricas, máquinas a gasolina.

Dentro de las 3 primeras categorías, se incluyó el desgranado de los 3 tipos maíz empleados en las pruebas, mientras que para las otras categorías se incluyeron todas las marcas y modelos comerciales recopilados. La forma de interpretar las gráficas, para ambos casos, es que mientras más a la derecha, en el eje de las ordenadas, y mientras más abajo en el eje de las abscisas, mejor relación productividad-precio tiene el producto ponderado, siendo la diferencia entre ambas comparativas, que para la primera (Fig. 20), los productos con la burbuja más grande representan las opciones con mejor eficiencia productiva, mientras que para la segunda (Fig. 19) los productos que menor energía consumen son los de las burbujas más pequeñas.

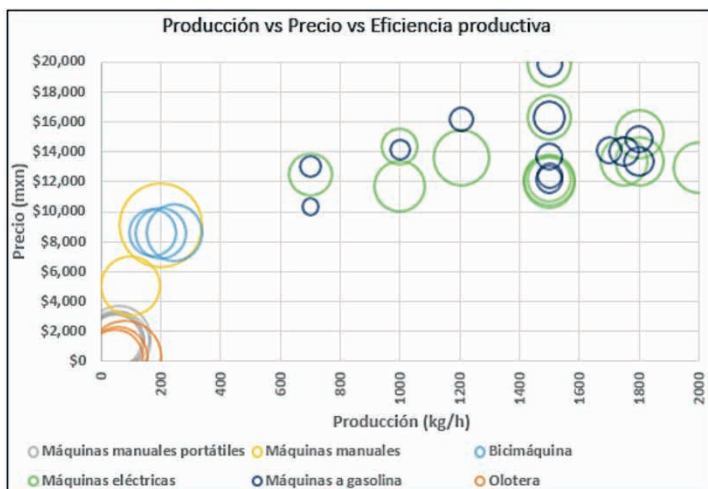



Figura 18 – Relación producción/precio/ef. productiva

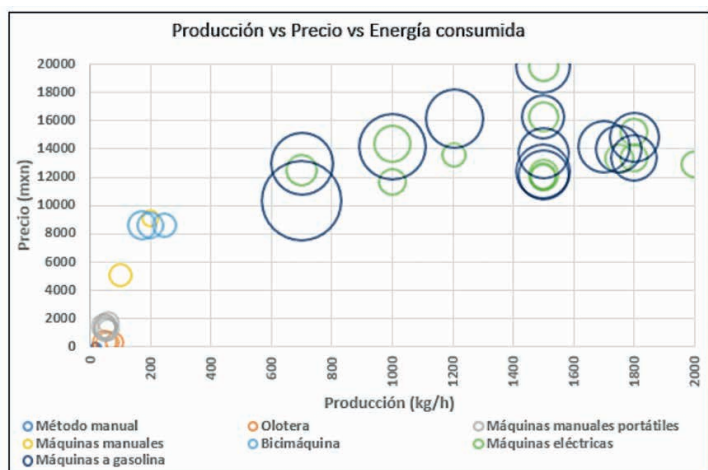



Figura 19 – Relación producción/precio/energía

6 I RESULTADOS

A partir de las figuras 18 y 19, podemos apreciar que la bicimáquina:

Supera por amplio margen, en términos de producción, al método manual, al método con olotera, y a los implementos manuales. En términos de precio-producción-energía, es muy similar a una máquina manual de alta capacidad, aunque más barata en cuanto a precio. Está muy lejos en términos de productividad, de las máquinas eléctricas, pero tiene una eficiencia productiva equiparable.

7 I CONCLUSIONES

En cuanto a productividad, la bicimáquina es muy lejana a la de las máquinas eléctricas y a gasolina, pero muy superior al de las formas manuales convencionales, equiparando la productividad de una máquina manual de alta capacidad y la eficiencia productiva de una máquina eléctrica, por un precio ligeramente inferior, quedando corroborada preliminarmente la viabilidad en términos de costo, productividad y eficiencia productiva, aunque con necesidad de mejora.

En cuanto a la dimensión ambiental, en términos de consumo de energía no hay gran diferencia entre máquina eléctrica y bicimáquina, pero al ser la fuerza motriz humana una fuente de energía de menores emisiones en general, se corrobora la viabilidad preliminarmente. Ahora bien, aunque la bicimáquina está muy lejos de las máquinas eléctricas y a gasolina en términos de productividad, dada la escasa presencia comercial de las máquinas manuales, podemos percibir una coyuntura en términos de emprendimiento social y solidario para esta, dado que tiene una eficiencia productiva y de uso de energía equiparable al de las máquinas eléctricas, y precisamente hay un mercado de máquinas a gasolina, debido a la baja disponibilidad de electricidad en parcelas y campos.

AGRADECIMIENTOS

Este artículo, fue realizado gracias a las becas de maestría otorgadas por CONACYT a los estudiantes de la UNAM involucrados en el estudio en el que se basa.

REFERENCIAS

Barkin, David. Riqueza, pobreza y desarrollo sustentable. México: Editorial Jus y Centro de Ecología y Desarrollo, 1998.

Blanco Romero, Elena. Metodología para el diseño de máquinas adaptadas a comunidades en desarrollo. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. 2018.

Carton de Grammont, Hubert. *La desagrarización del campo mexicano*. Convergencia, 16 (50). 2009.

Castelán Herrera, Isidro; Vázquez Nieto, Olga. Prototipo de desgranadora de maíz que mejora el proceso de desgranado en la Región de Influencia del Instituto Tecnológico Superior de Zacapoaxtla. TEPEXI Boletín Científico de la Escuela Superior Tepeji del Rio, 4 (8). 2017.

Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA). Cámara de diputados del poder legislativo de federal de México. Reporte: La composición del ingreso de los pequeños productores agropecuarios. Ciudad de México. 2018.

Collin Harguindeguy, Laura. La economía social y solidaria. Pasos, 135, 1-12. 2008.

Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL). Gobierno de México. Evaluación de Consistencia y Resultados 2017: Programa de Apoyo a Pequeños Productores. Ciudad de México. 2017.

Contipelli, Ernani; Nagao Menezes, Daniel Francisco. Innovación tecnológica en la economía solidaria. En: IX Coloquio Ibérico Internacional de Cooperativismo y Economía Social. Santiago de Compostela. 2017.

El Helew, W. K. Performance of a small-scale hand-cranked machine for maize shelling. Misr Journal of Agricultural Engineering. 34 (2), 617-634. 2017

Fraga Castillo, Carlos Alberto. Tecnologías apropiadas y economía social y solidaria: el caso de México. Panorama Económico, 17, 101-127. 2021.

García Jané, Jordi. La economía solidaria en 100 palabras. Barcelona: Icaria. 2017.

Hazeltine, Barrett; Bull, Christopher. Field Guide to Appropriate Technology (1ª Ed.). Amsterdam: Academic press. 2003.

International Labour Organization. Small-scale maize milling. Technology Series - Technical Memorandum 7. 1984.

Lira, A. Introducción al concepto de sostenibilidad. CDMX: Unidades de Apoyo para el Aprendizaje CUAED/UNAM. 2018

Marten, Gerald. Ecología Humana: Conceptos Básicos para el Desarrollo Sustentable. Reino Unido: Earthscan Publications. 2001

Rodríguez, G.; Taylor, J. E. y Yúnez Naude, A. The impacts of economic reforms on an ejido community: a quantitative análisis. En Cornelius W. y D. Myhre. The transformation of Rural Mexico: Reforming Rural Mexico (pp. 333-357). San Diego, California: Center for US-Mexican Studies, University of California. 1998.

Ron Parra, José; Sánchez González, José de Jesús; Jiménez Cordero, Ángel Andrés; Carrera Valtierra, José Alfredo; Martín López, José Guadalupe; Morales Rivera, Moisés Martín, de la Cruz Larios, Lino; Hurtado de la Peña, Salvador Antonio; Mena Munguía, Salvador; Rodríguez Flores, José Guadalupe, "Maíces nativos del Occidente de México I. Colectas 2004". Scientia CUCBA, 8 (4). 2006.

Ruiz Rivas Hernando, Ulpiano; Blanco Cano, Lucia; Soria Verdugo, Antonio; Chinchilla Sánchez, Mónica. Modelización de bombas manuales para el abastecimiento de agua. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid. 2017.

Secretaría de Agricultura, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (SAGARPA & FAO). Gobierno de México. Diagnóstico del sector rural y pesquero de México 2012. Ciudad de México, 2014.

Sianipar, Corinthias; Yudoko, Gatot; Dowaki, Kiyoshi; Adhiutama, Akbhar. Design Methodology for Appropriate Technology: Engineering as if People Mattered. Sustainability, 5(8), 3382–3425. 2013

Verhulst, Nele; González, Jessica; Vilchis, Rodolfo; Enyanche, Fabien; Odjo, Sylvanus. Postcosecha para pequeños productores de maíz en México. Enlace la revista de agricultura de conservación, 9 (41), 30-33. 2017.

Thomas, Hernán. De las tecnologías apropiadas a las tecnologías sociales. Conceptos / estrategias / diseños / acciones. En: Primera Jornada sobre Tecnologías Sociales, 2009. Buenos Aires: Programa Consejo de la Demanda de Actores Sociales. 2009.

Zarta Ávila, Plinio. La sustentabilidad o sostenibilidad: un concepto poderoso para la humanidad. Tabula Rasa, 28, 409-423. 2018.

CAPÍTULO 11

FINANCIAL LIQUIDITY AND FINANCIAL COST FACTORS ASSESSMENT IN CONSTRUCTION GOVERNMENT CONTRACTS

Data de aceite: 02/06/2023

José A. González-Fajardo
Universidad Autónoma de Yucatán

Erick J. Heftye-Cué
Universidad Autónoma de Yucatán

Jesús N. Zaragoza-Grifé
Universidad Autónoma de Yucatán

Sergio O. Álvarez-Romero
Universidad Autónoma de Yucatán

ABSTRACT: The construction industry operates in a highly competitive environment that encourages contractors to use low markups on their bids for government construction contracts affecting companies' financial liquidity and financial costs. There is common agreement in the literature that cash flow, financial liquidity, and accurate estimation of financial costs are crucial elements for the construction contractors' survival and their projects' successful completion. Many factors affect the financial liquidity and the financial cost of the projects, such as the advance payment, collection and payment frequency, delay of payments, the project schedule, the credit agreed with the suppliers, credit institutions' interest rates, etc. The authors investigated some of these factors' contractual and actual values in Yucatan, Mexico. In addition, they assessed their impact on financial liquidity and the financial cost of construction projects derived from government contracts. The authors proposed a methodology based on a cost-time integration model; they show a step-by-step procedure using specific software and BIM technology to make information management more effortless. This procedure was tested on a complex building construction project. The results show that assessing the variation in liquidity and financial cost for different combinations of factors is feasible and practical and has the potential to improve decision-making in project management.

KEYWORDS: Construction Management, Cash Flow, Financial Liquidity, Financial Cost, Cost and Time Integration, Contractor.

INTRODUCTION

The construction industry operates in a highly competitive environment, and contractors cannot survive without effective project management (Liu et al., 2009). This environment leads contractors to

use meager profit margins in public works tenders to compete, consequently affecting the companies' liquidity (Mahamid I, 2012).

There is, therefore, a common consensus that cash flow management and liquidity are crucial elements for the survival of contractors (Navon, 1996; Mohsin et al., 2014; Adjei et al., 2018); inadequate cash flow management is likely to be one of the main reasons why insolvency is more likely to occur in the construction industry than in any other (Jiang et al., 2011).

The construction project execution stage demands the highest amount of economic resources. During this stage, there is an intense financial movement of collections and payments between the owner and contractors, contractors and subcontractors, and contractors and suppliers. When the contractor requires financing to prevent the execution from stopping, they may resort to credit institutions. The interest payment for the money obtained is the traditional financial cost, which tends to be significantly higher in Mexico than international standards (Vargas, 2020). This situation has forced builders to negotiate debts with suppliers who, by force or negotiation, accept sharing or assuming part of the financing costs (García et al., 2004). Construction companies with low-profit margins to absorb financing costs risk running out of resources to complete a project and even going bankrupt (El-Kholy, A.M., 2014). The risk increases when the agreed payment terms delay for any reason, which is common in public works where political timing due to changes in government increases the risk of delays. Late payment is closely related to cash flow and is a matter of great concern in the construction industry, perhaps more so than in other sectors (Yang and Chang, 2013; Albdul-Rahman et al., 2014).

Therefore, financial costs must be effectively estimated and considered in the indirect costs of construction projects. It is pertinent for contractors to have a more precise understanding of the factors that affect the behavior of the financial cost of their projects, such as the payment conditions agreed upon in the contract and the actual conditions, to determine more realistic cash outflows, which help decide on whether accepting those conditions is convenient for them.

LITERATURE REVIEW

Various studies have identified factors that affect cash flow forecasting. For example, Chen et al. (2005) considered that three factors affect it: the time to receive payment from the client, the frequency of payment to subcontractors, and the component of disbursement for materials and labor; Park et al. (2005) considered the project duration, retention conditions, time to receive payment from the client, agreed upon credits with vendors and suppliers, equipment rentals, and subcontractor payment time. Other authors have investigated more variables, such as Kaka and Lewis (2003), who studied 20 variables divided into characteristic and classification variables; Al-Issa and Zayed (2007), who identified 43

factors that affect cash flow, and grouped them into seven categories; and Liu and Zayed (2009), who analyzed the 43 factors identified by Al-Issa and Zayed and concluded that "financial management" was the most critical category. Adjei et al. (2018) studied the impact of 12 significant factors, including labor and administrative salaries, progress payment durations, bank interest rates, and defective work replacement.

Various models have been developed to forecast cash flow. The most popular can be divided into two categories: mathematical models and cost-time integration models. Cost-time integration models are more accurate because they use more detailed information, including the cost and quantity of resources, construction elements, activities, subcontractor costs, overheads, a detailed schedule, and a list of all activities' associated resources. The biggest issue with this model is its requirement for extensive labor (Navon, 1996).

Several other authors propose cash flow models, such as Kenley and Wilson (2006), who propose a model based on a logarithmic transformation; Boussabaine and Elhag (1999), who apply fuzzy techniques to analyze cash flow; and Jiang et al. (2011), who provide a model that considers typical banking instruments, financial market constraints, budget constraints, and retentions, but does not include factors such as delays in owner payments and penalties for delayed payments.

The mentioned models have the disadvantage that the user would have to learn to program one of these systems, capture resources, apply conditions so that they can be moved in time, design a routine for cash flow, and perform financing analysis, which is very complicated for a common user. In the local context, this problem is accentuated because most construction companies (SMEs) approach project planning superficially, as there is little experience (González et al., 2008).

RESEARCH OBJECTIVES

González et al. (2008) developed the "comprehensive system for planning and control of construction projects" model to respond to the needs of the typical scenario faced by construction companies in the study research. With these and other ideas, this study proposes a cash flow-based analysis model to effectively evaluate the impact of factors that influence public works' financial cost.

The model is based on the integration of cost and time to achieve a good degree of precision. To reduce the effort required by this type of model and to achieve a practical application by contracting companies, a procedure is also put forward that proposes the use of *ad-hoc* software and BIM technology (Building Information Modeling), whose use is on the rise due to the way it has facilitated the management processes of construction projects (Eastman et al., 2011). With support from BIM models, it is possible to quickly and accurately generate work volumes to assign them, along with their various resources, to the multiple activities of the work schedule during cost and time planning. It is relevant

to mention that BIM technology is already mandatory in public works in various European countries, the USA, Chile, etc., and it will surely be in Mexico too.

The procedure was tested on a real construction project with high complexity to determine the financial cost for different combinations of agreed-upon and actual factors. The authors investigated these factors through surveys directed to officials from governmental agencies and executives from construction companies in the study region. The result showed that it is feasible and practical to evaluate the significance of the variation in the financial cost for different combinations of factors, which leads to better decision-making and actions for construction companies.

ANALYTICAL MODEL

The first part of the methodology to achieve the objectives consisted in developing an analysis model based on the cash flow method and the ideas of González et al. (2008), García et al. (2004), and Alcudia (2002). Figure 1 shows this model; the symbols in the figure are documents (input/output), process (rectangle), external data (parallelogram), decision (diamond), and flow of information (arrows).

The proposed model is based on the unit price cost system, which is the most common in Mexico. It should take as input a unit price cost estimate, a construction schedule, and the contractual payment terms (agreed-upon and real factors). The unit price cost estimate is understood to be composed of the work items catalog, the quantity of those items, and unit prices of work items without the financial cost, which is the subject of this study. With this information, all resources must be calculated (bill of quantities) and allocated to activities, paying particular attention to those consumed by the activities the company itself will develop. The resources managed by subcontractors are subtracted from the cost estimate and then integrated into the network as a subcontract item, as the details of their management correspond to the subcontractor companies. It must be verified that the assigned quantities match the resources in the cost estimate.

The operations mentioned above cannot be carried out without the support of software for construction project management due to the large amount of information from the unit price cost estimates. These tools should facilitate the extraction of data from cost estimates, which are generally prepared through specialized software for unit prices; it is important to ensure good interaction and compatibility of information between different software.

A software program developed at the School of Engineering of UADY for academic purposes and has been available since 2015 was used to facilitate the analysis proposed in this study. This tool, known as “ProFin,” is capable of a) facilitating the development of a construction schedule using a network of activities; b) automatically extracting resources information from cost estimates created by using commercial software from different developers; c) facilitating allocation of resources from cost estimates to activities in the

construction schedule.

The next step is to forecast the cash flow of the construction project, which includes, on one hand, the expenditure program, which consists of payment schedules (payroll, materials, equipment, and subcontractors), information about suppliers' credit terms, and a program of indirect costs expenses; and on the other hand, an income program, based on the contractual payment terms such as advance payment, revision periods of payment progress estimates, and forecast of income of those payments. All this information constitutes the agreed-upon and actual factors whose impact will be evaluated and is essential to carry out the tasks and analysis proposed in the procedures of the analytical model.

Once this is done, the calculation of the financial cost of the project is straightforward; it only requires knowing the active interest rate charged by credit institutions. This rate is applied in the months (or periods) when the cash flow is negative, e.g., when the accumulated disbursements exceed the accumulated income.

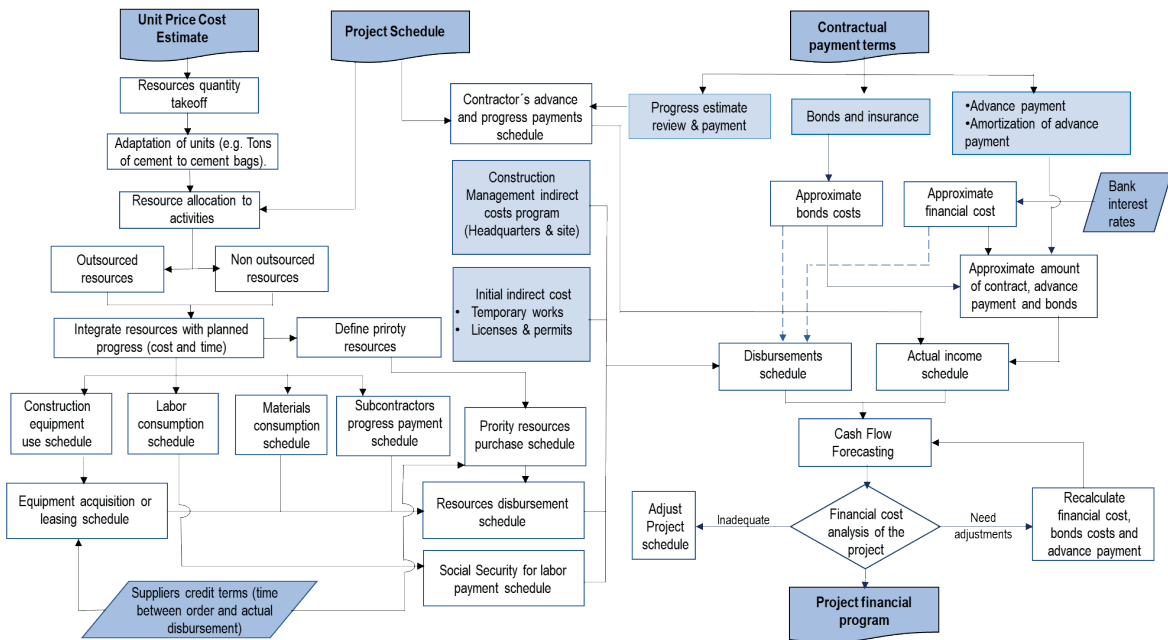



Figure 1. Proposed Analysis Model.

Source: own elaboration with references from González et al. (2008), García et al. (2004), and Alcudia (2002).

PROOF OF CONCEPT

A complete project was chosen to test the analytical model in a real-life project; this construction project provided all the necessary information to carry out the exercise. Thanks to the Construction Department of UADY, the executive project (architectural and

engineering blueprints) and the database of the unit price cost estimate of the main building of the new School of Accounting and Administration of UADY, consisting of 4 levels and more than 2,500 m2 of construction, were obtained. Structural, masonry, electrical, hydraulic, and sanitary installation plans, as well as window plans, among others, were available, making it an ideal building to test.

A decision was taken to use volumes obtained from a BIM (Building Information Modeling) model in the analysis, which would provide greater accuracy for the quantities of work, which must be allocated to each activity in the work schedule. The procedure also allows using conventional methods to obtain quantities of work, either with a spreadsheet or by hand, and then capture the volumes obtained.

One of the main reasons for integrating the BIM model as an input information element in the analysis is the ease of handling the information represented in a virtual model and the possibility of breaking down a complex project, such as the one used, into more minor elements. Without a BIM virtual model, much more time would be invested to achieve the level of detail and precision in handling the information sought in this study.

It was considered convenient to complement the development of the ProFin software mentioned above to facilitate: a) the integration of information on work volumes generated with the support of a BIM model; b) the assignment of these volumes and their corresponding resources to construction activities; c) modeling of contractual conditions of the contracting agency; d) modeling of some payment conditions agreed between contractors and suppliers; e) calculation of cash flow closest to reality; f) consideration of the active interest rate from credit institutions; g) calculation of financial cost for a particular project. It should be noted that all these operations can be carried out exclusively with the support of a spreadsheet, but their handling would be highly facilitated with software that includes them.

Field Data Collection

The second part of the methodology consisted of obtaining the factors that affect the financial cost of public works contracts. By reviewing the literature, the factors that affect financing were identified, and then four public sector agencies that carry out building works were consulted to obtain information about their contractual and payment conditions, which were called “agreed-upon factors.” In addition, contractors who work for these agencies were also consulted to obtain the actual estimation and payment periods they are subject to, as well as the types of credit they obtain from suppliers and credit institutions, which will be referred to as “real factors.”

A guided interview was chosen to obtain the necessary information; this type of instrument would allow for direct interaction with the interviewees and facilitate clarification of doubts. Questionnaires were developed to support both types of interviews. The questions were designed to obtain the necessary information to analyze the income and expenses for the cash flow forecast, that is, to collect the data that would serve as input to the analytical

model.

For the agreed-upon factors, high-level officials from four governmental agencies responsible for developing and bidding on public projects were interviewed: the Public Works Agency of the State of Yucatan (SOP), the Institute for the Development and Certification of Physical Educational Infrastructure of Yucatan (IDEFEY), the Public Works Agency of City Council of Merida (PW City Council), and the Construction Department of the Autonomous University of Yucatan (Construction Department - UADY). All of them met the criterion of having carried out building work at the time of the research.

For the real factors, the analyzed population was determined from a sample of contractor companies in the registry of construction companies that obtained contracts from the four agencies, with amounts exceeding the equivalent of 1 million Mexican pesos or 60,000 USD. Top executives of 21 companies were interviewed face to face. They were randomly selected from the 47 companies on the registry that met the requirements.

Analysis cases

With the survey results already processed, the values of the agreed-upon and actual factors were obtained. This made it possible to have the necessary information to apply the proposed analytical model to a real-life building project in different situations or cases and thus be able to evaluate the impact of the most important groups of factors. Below are the different combinations of factors grouped into cases.

Case 1. In this case, the best scenario for financial costs that can be expected was analyzed according to the contractual conditions of the agencies included in the study. Contracts' income conditions correspond to the IDEFEY and UADY, which behave similarly, so the conditions of both are represented in this case. For the expenses, two situations were considered: a) a staggered distribution of payments considering the credit conditions of the suppliers (case 1A-SD or staggered payment distribution), and b) uniform distribution of resource payments or "as consumed," according to the durations of the activities (case 1B-UD or uniform payment distribution).

Case 2. The intermediate scenario was analyzed in terms of income for contractors, which occurs with the Public Works Agency of the State Government. For the expenses, the two situations were also studied, as in cases 1, 2A-SD, and 2B-UD.

Case 3. The worst scenario that can be expected in relation to financial costs was analyzed according to the income conditions of the Public Works Agency of the City Council of Merida contracts. For expenses, situations 3A-SD and 3B-UD were also studied.

Case 4. A hypothetical scenario was analyzed, which would occur when a dependency delayed paying the advance payment three months after the start of the work, and with a uniform distribution of resource payments since it is considered the most unfavorable, not considering the help that credits with suppliers can provide.

Case 5. In this case, a hypothetical scenario was presented in which the dependency

does not provide an advance payment, and estimates are paid three months later, as in Case 3. The objective is to evaluate the economic impact that a contractor would have in financing practically the entire project. This scenario could occur, mainly in private projects.

In this context, "estimate" refers to the progressive payment request made by the constructor to the public Agency; it consists of a set of documents and procedures that support the progress of the work in a period allowed by the Agency. The times for preparation, processing, approval, and payment of each "estimate" are different depending on the public agencies' contractual and payment policies and the constructors' collection practices. The impact on the cash flow of the different collection/payment durations of the public agencies was observed.

The effect of contractor payment practices on their suppliers was also observed when considering the DD and DU conditions. By contrasting the methods used to model resource payment, the aim was to determine the magnitude of their impact on cash flow and whether these conditions are significant in financial costs.

RESULTS

Survey for government agencies

Table 1 shows the results from questionnaires administered during interviews with the officials of the four government agencies that administer public works projects included in this study. These results correspond to the agreed-upon factors that impact the financial cost of the projects.

Factors	Public Works – State Government	IDEFEY – State Government	Public Works Agency – City Council of Merida	Construction Department - UADY
a) Advance payment	30% - 50%	30%	30%	30% y 50% in special purchases
b) Minimum periodicity allowed to contractors to prepare "estimates" for progressive payments	30 days	30 days	30 days	15 days
c) Actual time between contractor's estimates for progress payments.	1 to 4 months	1 to 1.5 months	monthly	monthly
d) Supervision's review time for estimates of progressive payments	10 days	7 days	10 days	7 days
e) Time between supervision's approval and actual income.	15 days	3 to 15 days	20 days	15 days

f) Bonds	• Advance payment bond • Performance bond 10% • Guarantee and hidden defects bond 10%	• Advance payment bond • Performance bond 10% • Guarantee and hidden defects bond 10%	• Advance payment bond • Performance bond 10% • Guarantee and hidden defects bond 10%	• Advance payment bond • Guarantee and hidden defects bond 10%
g) Penalties for delay	5% of the amount of the works not executed at the cut-off date (according to schedule).	3% of the amount of the works not executed at the cut-off date (according to schedule). 0.03% of the contract amount for each day of delay.	5% of the amount of the works not executed at the cut-off date (according to schedule). 0.02% of the contract amount for each day of delay.	0.01% of the contract amount for each day of delay.

Table 1. Summary of agreed-upon factors according to government agencies.

Survey for construction companies

Figure 2 shows the percentage of interviewed companies that contract with the four analyzed government agencies. Most of these 21 companies participate in tenders and contracts with more than one of the four public agencies analyzed.

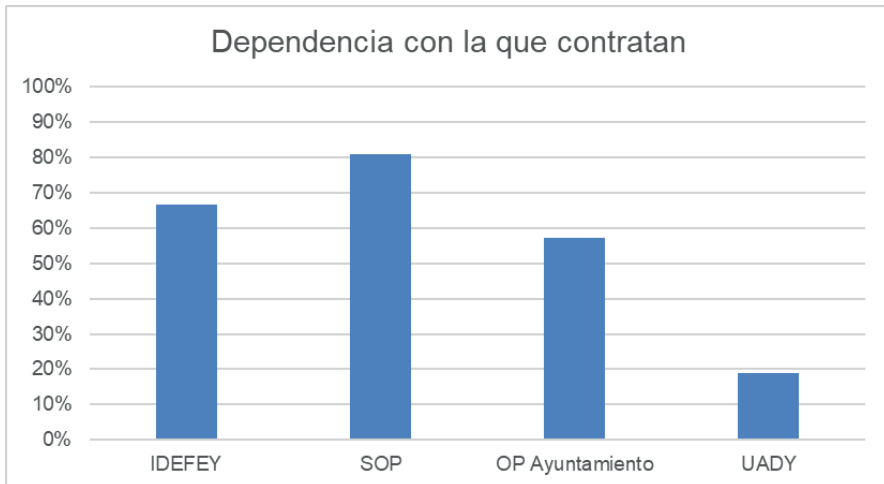



Figure 2. Percentage of interviewed construction firms that contract with the four Public agencies.

Table 2 shows the information provided by the contractors to determine the actual periodicity of progress payments for partial advances in the works. The payment period is understood as the time lag between the partial advance of the work included in an "estimate" and the actual payment received by the contractor for that estimate.

Periodicities and times	IDEFEY – State Government	Public Works – State Government	Public Works Agency – City Council of Merida	Construction Department - UADY
Minimum periodicity that the Agency allows to submit an "estimate" for progress payments	15	15	30	15
Contractor periodicity for submission of "estimates" for progress payments	15	30	30	15
Time to review "estimates" for progress payments by Agency's supervision	7	15	15	7
Time between revision and authorization in Agencies	7	15	15	7
Time between authorization and actual income of progress payments	7	30	30	15

Table 2. Information to determine payment periods by Agency according to contractors.

Due to the effect that actual periods of progress payments can have on liquidity and financial cost and considering that periods not only depend on Agencies' contractual and policy conditions but also on actual collection and payment practices, constructors were questioned about whether they delay submitting their estimates and the main reasons for delays. Constructors were able to indicate more than one reason; the following results were obtained from the set of responses: delays in preparing estimates (23%); corrections requested from calculations of the actual volume of works that support the estimates (19%); lack of coordination between the Agency supervisor and the constructor's resident (20%); delays by the supervisors (18%); reconciliation of volumes and additional work items (12%); changes in the project (8%).

According to contractors' responses, Table 3 shows the most important materials for the work, as their cost impacts 80% of the total material expenses; it also shows the credit days the suppliers grant in most cases.

Material		Credit days
1	Steel	30
2	Cement	30
3	Wood	Cash payment
4	Pre-mixed concrete	30
5	Stone aggregates	30
6	Blocks	30
7	Joists	30
8	Lime	30
9	Tile adhesive	30

10	Porcelain tile	Cash payment
11	Welded wire mesh	30
12	Electrical cable	30
13	Lamps	30
14	Sanitary fixtures	30

Table 3. Relationship of materials with the highest cost impact and credit time.

This list of materials was considered in this study as priority materials, meaning they require the most attention to obtain the best possible credit terms, thereby improving the company's liquidity and reducing the financial cost if necessary. This suppliers' information is the only one to be considered in the "Suppliers credit terms" in the analytical model.

Step-by-step procedure

A procedure based on the analytical model was applied to assess the impact of factors that influence the financial cost of projects. As described before, different situations or cases were considered in a large project's cash flow forecast procedure, where authors had access to plans, specifications, and cost estimates.

In addition to the above information, it was necessary to develop a construction schedule, work quantities generators, and have the contractual terms of the contracting agencies based on the surveys conducted. Additionally, to coincide with the real environment, contractors can include their actual billing practices, actual payment times from the agencies, and payment times and contractual terms from their suppliers in the analysis; this information was also obtained from surveys.

The "ProFin" software mentioned before was used to facilitate information handling; this software was designed to facilitate detailed planning and scheduling of a construction project. The tool allows the elaboration of complex construction programs and integrates them with cost estimates prepared in other software; its original function was to integrate cost and time. It was modified for this research to add functions that would make it easier to apply the proposed financial analytical model.

With the modifications made to the "ProFin" software, the tool now allows compatibility and manipulation of BIM models. It also allows the entry of factors that impact financing (advance payment, estimation periodicity, interest rates, credit with suppliers, among others), as well as financial runs and the calculation of financial cost.

The BIM model of this building was developed in Autodesk's Revit software. All structural elements such as footings, pads, columns, slabs, walls, slabs, and metal structures were modeled as shown in Figure 3. Architectural elements such as windows, doors, ceilings, etc., and electrical, hydraulic, sanitary, and rainwater installations were also modeled.

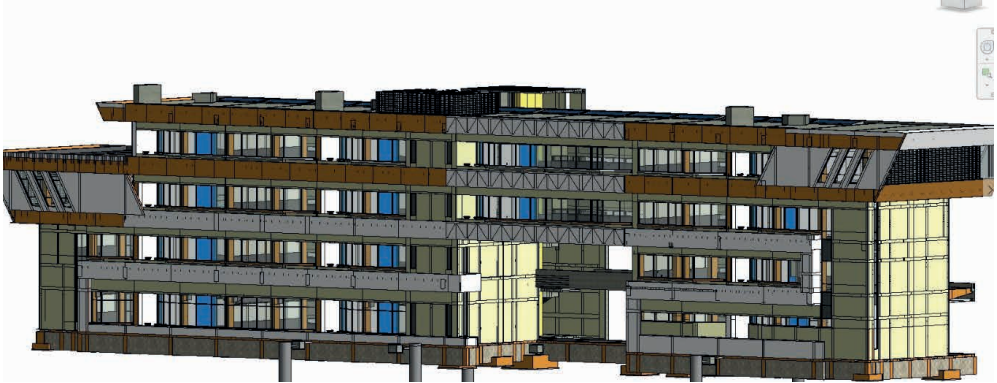



Figure 3. BIM model of the test building.

Source: own elaboration from CAD plans.

Next, the procedure carried out to obtain the results of this study is described as follows:

1. Have a unit price cost estimate from which the quantification of resources will be obtained.

2. Adjust resource units to facilitate construction control where necessary. Example: cement in tons to cement in 50 kg bags.

3. Elaborate on a detailed construction schedule using a network scheduling method. This schedule was created with the help of the ProFin tool, and a view of it can be seen in Figure 4. In this study, the Precedence Diagram Method was used because of its flexibility in using four types of relationships between activities and any number of connections between them.

4. Allocate work volumes to activities. The work volumes from the BIM model or a spreadsheet must be allocated to their corresponding activities. To facilitate this task, a work volumes quantifier was created for the construction activities (in the ProFin tool), and then the BIM elements were allocated to them. The quantifier can extract the required properties from the model (length, area, volume, weight, etc.). Figure 5 shows a view of the BIM elements that are allocated to the activities with their quantifiers (volume for concrete and weight for steel).

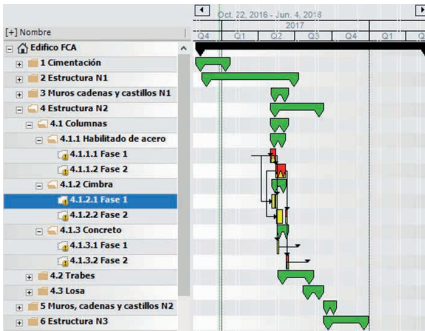



Figure 4. View of the project schedule in the ProFin software.

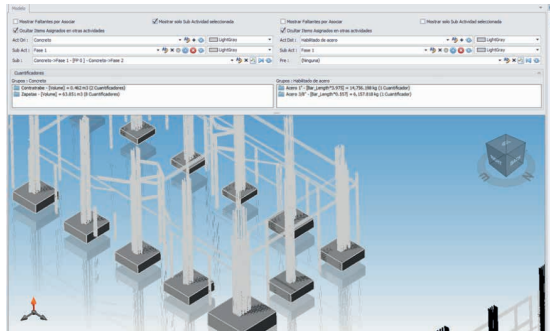



Figure 5. Assignment of BIM elements to activities.

Allocate resources to activities. The ProFin tool also assists in allocating cost items from the unit price cost estimate to activities; these unit price items are composed of resources (materials, labor, tools, etc.). The items that need to be allocated are selected in the corresponding cost estimate tab. Then the "associate the selected item to the activity" command is used, as shown in Figure 6.

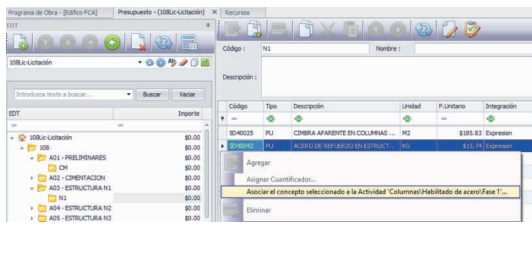



Figure 6. Cost items assignment to activities.

Figure 7. Cost items associated with the activity.

6. Integrate the work volumes with unit price items. Once the cost estimate items are associated with the activities, as shown in Figure 7, their resources are also automatically associated. The quantifiers, which come from either the BIM model or a generating spreadsheet, are integrated with the resources, as shown in Figure 8, and then the tool automatically quantifies each activity's resources, as shown in Figure 9.

7. The corresponding subcontract activities are created for the items that were decided to be managed as subcontracts, such as the metal structure, electrical, hydraulic, and sanitary installations. Instead of allocating resources from a cost estimate to the activities, a new resource is created, and the total cost of the subcontracted item is captured. This new resource is directly assigned to the subcontracting activity, and in this way, the subcontracts are included in the analysis in a global way.

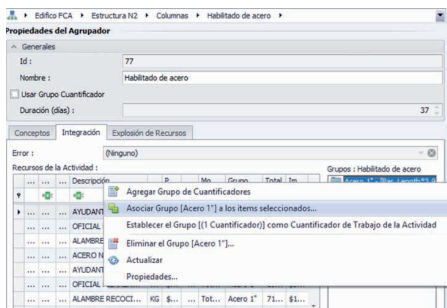



Figure 8. Integration of work volumes with resources.

Figure 9. Resource Quantity Take-off for an activity

8. Define priority materials. As shown in Table 3, these materials represent 80% of the total material cost. Once these materials are identified, possible suppliers are assigned to them. The programmer captures the supplier's relevant information, such as a) the number of credit days, if offered, and b) the number of delivery days. This procedure allows for a more realistic distribution of resources.

9. Program initial indirect expenses such as provisional works, licenses, and permits, assigning their associated cost to an activity.

10. Program periodic indirect costs, such as office administration on the construction site and central office administration, assigning their associated cost to an activity.

11. Capture contractual information or agreed-upon factors such as the advance payment percentage, estimation periods, and payment periods in the corresponding fields.

12. Capture the expected additional cost factors in its designated field. For this case, only the profit was considered, as indirect costs were assigned to activities for programming.

13. Capture financial information, such as the active interest rate and the frequency of financial analysis. For this study, biweekly periods were used.

14. Determine the cash flow and financial cost. This is done automatically with the help of the ProFin tool, having all the previously described information captured and loaded. Proceed to execute the "generate flows" command. The result is a financial run and the calculation of the project's financial cost and can be sent to a spreadsheet.

Financial runs

Table 4 shows the results of each combination of factors proposed as different analysis cases. Case 1 corresponds to the conditions of the IDEFEY and UADY agencies, Case 2 to those of the Secretariat of Public Works, Case 3 to those of the Public Works Department of the Municipality of Mérida, Case 4 corresponds to a scenario where the advance payment takes three months to be paid, and Case 5 to a scenario where no

advance payment is available; SD and UD represent a staggered or uniform distribution of payments to suppliers, respectively.

Input Data	CASE 1. A-SD	CASE 1. B-UD	CASE 2. A-SD	CASE 2. B-UD	CASE 3. A-SD	CASE 3. B-UD	CASE 4 UD	CASE 5 UD
Advance payment	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30% 90 days after	0%
Days between "estimates"	30 days	30 days	30 days	30 days	30 days	30 days	30 days	30 days
Review days for payment of estimate	35 days	35 days	60 days	60 days	90 days	90 days	90 days	90 days
Results								
Financial Cost	$13,870.74	$18,720.38	$20,473.20	$21,480.85	$34,635.71	$72,134.07	$308,082.10	$561,341.97
% Financing	0.06%	0.07%	0.08%	0.09%	0.14%	0.29%	1.17%	2.24%
% Profit	6.50%	6.50%	6.50%	6.50%	6.50%	6.50%	5.00%	5.00%

Table 4. Results of the financial runs

It is possible to graphically show the liquidity (income minus expenses) for each financial run. As an example, Figure 10 shows Case 2.A-SD and Figure 11 shows Case 5, which represent the most favorable and unfavorable cases, respectively, in terms of the percentage of financing. It was assumed that when expenses (orange line) are greater than or above income (blue line), financing is required.

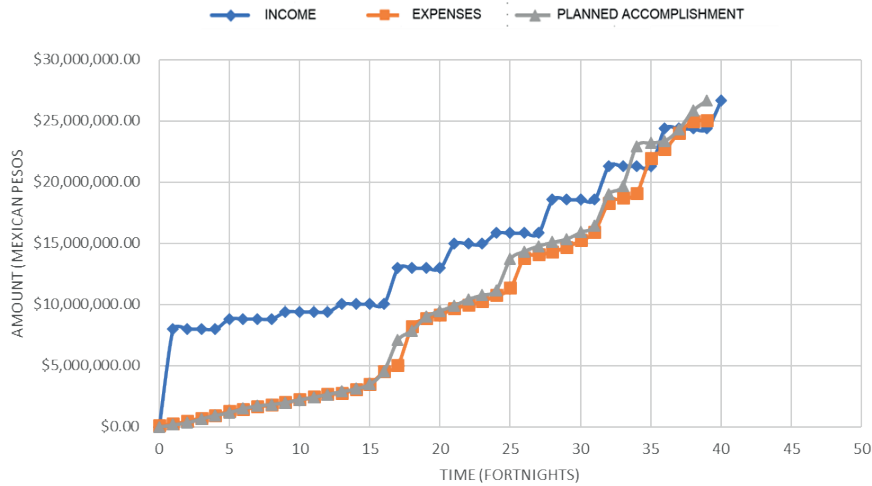



Figure 10. Liquidity for Case 1.A with staggered distribution of resources.

Source: Own elaboration.

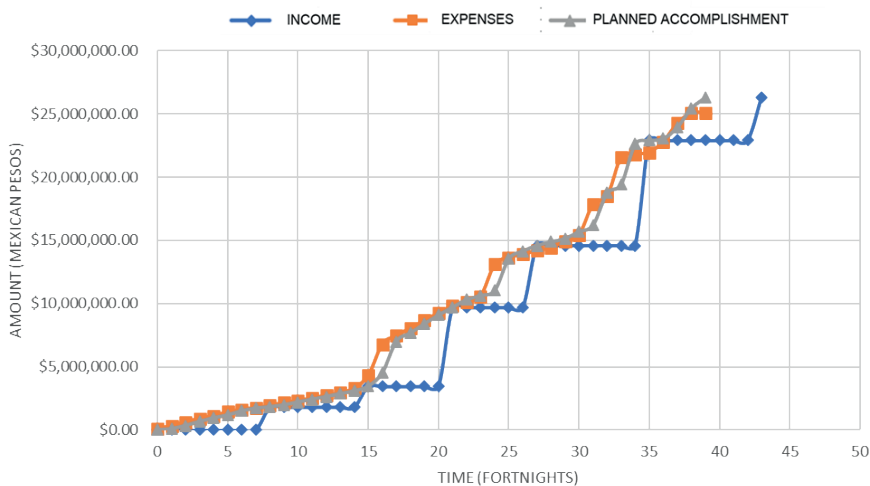



Figure 11. Liquidity for Case 5.

Source: Own elaboration.

DISCUSSION

In cases 1, 2, and 3, there is no liquidity problem until close to the end of the project. Although the impact of the financial cost is not significant, it is important to know when financing is necessary to obtain credit from a financial institution. With the help of this analysis, that information can be obtained.

Significant reduction in financial cost can be observed in these cases 1, 2, and 3 when a staggered distribution (SD) of payments to suppliers is considered compared to a uniform distribution (UD). According to Castillo (2000), suppliers have become one of the contractors' main sources of financing.

If not considered when preparing a project cost estimate, the financial cost can significantly decrease profit or even cause economic losses. For the less favorable cases 4 and 5, as shown in Table 4, the financial cost is a critical factor that must be analyzed in detail. The financial cost for Case 5, which is $561,342, contrasts substantially with the financial cost for Case 1. A-SD, which is only $13,871.

In general, cases 1, 2, and 3 did not present liquidity problems because the advance payment helped to avoid them. In contrast, in cases 4 and 5, it was demonstrated that the advance payment is a sensitive and impactful factor in the financial cost.

In this study, it was considered that the advance payment was eroded as resources were consumed, but in reality, this does not happen. It is common for contractors to provide advances to their subcontractors and significant material suppliers to secure prices and avoid inflationary increases, which means that the advance payment is eroded more quickly.

This practice is recommended in large, long-term projects but could result in more critical cash flow forecasts and higher financial costs. The effect of using the advance payment in the financial analysis of a project may be a special area of study where the procedure and tool developed in this work can be of great assistance.

Another factor that had a considerable impact is the frequency and delay in receiving payment for progress estimates. This study shows that it is very common for companies in the region to delay in receiving payment for their estimates, and 62% of the reasons why contractors are late in submitting estimates for progress payment are attributable to the lack of organization of their companies. In addition, some government agencies take longer than agreed to make payments once the estimates for progress payment have been reviewed and approved. The effect of the periodic payment of progress payment estimates can easily be represented in the proposed analytical model.

The same project schedule with early dates was used in all cases. In another study, it would be interesting to evaluate the financial impact of scheduling activities with late dates, changing durations, or moving certain activities in time, taking advantage of the slack time. Alavipour and Arditti (2018) proposed a model that optimizes the financial program of the project generated from a CPM program, considering these factors. Ahmed M.H et al. (2014) studied the impact of changing the start of activities on the liquidity of construction companies using a simulation model. These cases would be straightforward to model with the tool and methodology proposed in this study.

Navon (1996) proposed that the biggest problem with cost-time integration models for financial analyses is the time it takes to associate the cost estimate resources with the project program activities. This time duration is significantly reduced by using BIM models and the ProFin tool. However, it must be recognized that significant efforts are still required, which is compensated for by having much more detailed information for accurate decision-making.

CONCLUSIONS

The proposed methodology and software can contribute to detailed project planning; the ease of integrating resources into activities allows for supply and payment schedules to be carried out in a dynamic and flexible environment, which can be updated throughout the execution of the project. Automating resource quantification tasks through the BIM methodology for each execution period facilitates procurement tasks for construction projects.

The methodology allows to ponder on different contractual terms and contractors' practices in calculating the projects' financial cost. However, with the proposed method and tool, the impact of other factors that were not studied in this research, such as the impact of delays in payments by the agencies and the use of different work schedules, could also

be analyzed.

Finally, the proposed analytical model and its tool can facilitate risk analysis by allowing the easy variation of internal and external factors that affect the financing of projects highly dependent on their cash flow. This is also true in the case of unforeseeable events, where once the project work is advancing and there are delays due to unforeseen contingencies, it is possible to quantify the financial impact of payment delays.

REFERENCES

Adjei, Emmanuel A-G., Fugar Frank D. K., Adinyira Emmanuel, Edwards David J., Parn Erika A. (2018). *Exploring the Significant Cash Flow Factors Influencing Building Projects Profitability in Ghana.* International Journal of Construction Engineering and Management, 7(1): 35-46. DOI: 10.5923/j.ijcem.20180701.04

Alavipour, R., and Arditi, D. (2018). *Optimizing Financing Cost in Construction Projects with Fixed Project Duration*. "Journal Construction Engineering and Management". ASCE, 144(4), pp. 04018012-1–04018012-13. https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001451

Abdul-Rahman H., Kho M., Wang C. (2014). *Late Payment and Nonpayment Encountered by Contracting Firms in a Fast-Developing Economy*. "Journal of Professional Issues in Engineering Education & Practice" ASCE 140(5) pp.131-139. https://doi.org/10.1061/(ASCE)EI.1943-5541.0000189

Ahmed M.H, Zayed T., Elazouni A. (2014). *Assessment of the Impact of changing Activities' start times on Cash-Flow Parameters.* International Journal of Advanced Robotics and Automation 3(2):1-16. DOI: 10.15226/2473-3032/3/1/00137

Al-Issa, A. and Zayed, T. (2007). Projects cash flow f*actors-contractor perspective*. "Construction Research Congress" (CRC), ASCE, Bahamas, Mayo 5-8.

Alcudia V. C. (2002). *Propuesta de un sistema integral de planeación y control de proyectos de construcción en Yucatán*. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Yucatán, México.

Boussabaine A., Elhag T. (1999). *Applying fuzzy techniques to cash flow analysis*. "Construction Management and Economics" (17) pp. 745-755. https://doi.org/10.1080/014461999371088

Castillo Alejandro, (2000). *Pilas a la Nueva Banca*, "Expansión" (México), Abril 2000, núm. 788, pp. 46-54.

Chen, H., O´Brien, W. J., and Herbsman, Z. J. (2005). *Assessing the Accuracy of Cash Flow Models: The Significance of Payment Conditions*. "Journal Construction Engineering and Management". ASCE-, Vol. 131(6), PP. 669-676. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2005)131:6(669)

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., Liston, K. (2011). BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors. John Wiley & Sons.

El-Kholy A. M. (2014), *A multi-objective fuzzy linear programming model for cash flow management,* International Journal of Engineering Research and Applications, Vol. 4, Issue 8 (Version 3), pp.152 - 163. http://www.ijera.com/papers/Vol4_issue8/Version%203/W4803152163.pdf. [Accessed July, 2017].

García C., Zaragoza N., Pech. (2004). *Desarrollo de una herramienta computacional para el análisis de financiamiento de las obras que incluyan las obligaciones tributarias y las condiciones de pago a proveedores*. Revista Académica de la Facultad de Ingeniería UADY (México), 8-2, 2004, pp. 81-90.

González F. José; Zaragoza G., Nicolas; Alcudia V., Carlos; Díaz R. José.(2008). *Sistema Integral para la Planeación y Control de Proyectos para las PYMES de construcción*. Memorias del 1er. Congreso Administración y Tecnología para la Arquitectura, Diseño e Ingeniería. División de Ciencias y Artes para el Diseño. Universidad Autónoma Metropolitana. Plantel Azacapotzalco. México D.F., Octubre 9-11 2007, publicado Junio 2008, pp. 81-108.

Jiang A., Issa R., Malek M. (2011). *Construction Project Cash Flow Planning Using the Pareto Optimaly Efficiency Network Model*. "Journal of Civil Engineering and Management", ASCE 17 (4), pp 510-519. DOI:10.3846/13923730.2011.604537

Kaka, A., Lewis, J. (2003). *Development of a company-level dynamic cash flow forecasting model (DYCAFF)*. "Journal Construction Management and Economics" ASCE, Vol. 21(7), PP. 693-705.

Kenley R., Wilson O. (2006). *A construction project net cash flow model*. "Construction Management and Economics" (7), pp 3-18. https://doi.org/10.1080/01446198900000002

Liu, Y., Zayed, T., and Li, S. (2009). *Cash Flow Analysis of Construction Projects*. "Canadian Society of Civil Engineering (CSCE) Conference", St. John's, Newfoundland, Canada, Mayo 27-30, ICS-201. https://pdfs.semanticscholar.org/72b1/55e3c8543315719e6517c2e549560f7fa55b.pdf.

Mahamid I. (2012), *Factors affecting contractors' business failure: contractors' perspective,* engineering, Construction and Architectural Managemnet, 19:3, pp 269-285. http://dx.doi.org/10.1108/09699981211219607.

Mohsin M. A., Al-Nuaimi A., Tobi S. A. (2014), *Contractual implications of cash flow on owner and contractor in villa construction projects*, International Journal of Research in Engineering and Technology, 3:4, pp. 442-447. http://dx.doi.org/10.15623/ijret.2014.0304079

Navon, R. (1996). *Company-level cash-flow management*. "Journal Construction Engineering and Management", ASCE 122(1),pp. 22–29. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1996)122:1(22)

Park H., Han S., Russell J. (2005). *Cash Flow Forecasting Model for General Contractors Using Moving Weights of Cost Categories*. "Journal of Management in Engineering", ASCE 21(4) pp 164-172. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0742-597X(2005)21:4(164)

Vargas Rubio, Paola (24 de abril de 2020). *México tiene la tasa de interés más alta de las naciones de la Alianza del Pacífico.* La República https://www.larepublica.co/globoeconomia/mexico-tiene-la-tasa-de-interes-mas-alta-de-las-naciones-de-la-alianza-del-pacifico-2996856

Yang, H., and Chang, C. (2013). *A two-warehouse partial backlogging inventory model for deteriorating items with permissible delay in payment under inflation*. "Appl. Math. Modell"., 37(5), 2717–2726. https://doi.org/10.1016/j.apm.2012.05.008

FITOTOXICIDAD POR NANOTUBOS DE CARBONO MULTIPAREDES Y NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE GRAFITO EN PLANTAS DE *Raphanus Sativus*

Data de aceite: 02/06/2023

R.H. Lira-Saldivar
Departamento de Biociencias y Agrotecnología, Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA)

B. Méndez-Argüello
Departamento de Biociencias y Agrotecnología, Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA)

I. Vera-Reyes
Departamento de Biociencias y Agrotecnología, Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA)

G. De los Santos-Villarreal
Departamento de Química Macromolecular y Nanomateriales. Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), Saltillo, Coahuila, México

RESUMEN. Este trabajo consistió en la realización de dos bioensayos en los que se utilizaron nanotubos de carbono multiparedes (NTCM) y nanopartículas de óxido de grafito (NPsOG). En el primero se imbibieron las semillas de *R. sativus* durante 2 h en soluciones conteniendo NTCM y NPsOG en concentraciones 0, 100 y 200 ppm. En el segundo bioensayo en invernadero, se sembraron semillas de rábano en contenedores conteniendo un sustrato mezclado de zeolita y turba. Cuando las plantas tuvieron un par de hojas verdaderas se iniciaron las aplicaciones foliares cada semana con las concentraciones antes señaladas. Los resultados revelaron que en ambos bioensayos los NTCM y las NPsOG, afectaron negativamente la germinación de semillas y provocaron menor altura, área foliar y biomasa de las plantas, indicando esto un efecto fitotóxico.

PALABRAS CLAVE: Agronanotecnología, nanomateriales de carbono, zeolita, fitoxicidad.

ABSTRACT. This work consisted in the establishment of two bioassays in which multiwall carbon nanotubes (NTCM) and graphite oxide nanoparticles (NPsOG) were investigated. The seeds of *R. sativus* were soaked for 2 h in solutions containing NTCM and NPsOG at concentrations of 0, 100 and 200 ppm. In the second bioassay under greenhouse conditions, radish seeds were sown in containers containing a mixture of zeolite and peat moss. When the plants had a pair of true leaves, foliar applications every week with the concentrations

aforementioned began. The results revealed that in both bioassays the NTCM and NPsOG, adversely affected seed germination and caused lower height, leaf area and plant biomass, indicating these results a phytotoxic effect.
KEYWORDS: Agronanotechnology, carbon nanomaterials, zeolite, phytotoxicity.

1 I INTRODUCCIÓN

Los avances en nanotecnología (NT) se están integrando en la biología y ha llevado al surgimiento de nuevas disciplinas como la nanobiotecnología, en la cual las NPs tienen interesantes aplicaciones. Las NPs son agregados atómicos o moleculares con una dimensión entre 1 y 100 nm [1], con propiedades físico-químicas diferentes en comparación con el material de tamaño micrométrico [2,3]. Las aplicaciones de la NT en la agricultura moderna tienen gran impacto a través del desarrollo de NPs metálicas y derivadas del carbono que prometen mejorar la germinación de semillas y el crecimiento de las plantas[4], producir nanofertilizantes con liberación controlada de nutrientes [5], nanocápsulas para la aplicación controlada de herbicidas [6], lo que es posible que las nanoformulaciones permitan reducir la dosis y frecuencia de aplicación en comparación con las formulaciones convencionales [7].

Los nanomateriales derivados del carbono, como los NTCM y NPsOG, son ampliamente usados en ciencias biológicas y de materiales. Por su tamaño nanométrico tienen la facilidad de penetran en las células, pueden activar los canales de agua y facilitar el transporte de nutrientes, mejorando la germinación y crecimiento de las plantas. Sin embargo, no se conoce las cantidades óptimas de aplicación, diversos investigadores mencionan que altas concentraciones pueden causar daño potencial a las membranas celulares; alterar el balance de nutrientes y pérdida de electrolitos, provocando menor crecimiento vegetativo [8].

Su aplicación en plantas de interés agrícola puede generar efectos fitotóxicos, ya que causan un desbalance del contenido de nutrientes y reducción de la actividad fotosintética, limitando el crecimiento de las plantas [9]. Con el fin de entender los posibles beneficios de la aplicación de la NT a la agricultura, se debe estudiar el efecto de la aplicación de NPs en semillas y en plantas, debido a que existe información no concluyente y un problema es su potencial fitoxicidad a determinadas concentraciones.

De manera similar algunos materiales como las zeolitas, se están utilizado para mejorar la retención de agua, como acarreadores de nutrientes; y para la recuperación de suelos contaminados por fertilizantes, herbicidas y pesticidas. Estos materiales aluminosilicatos promueven la germinación de semillas, crecimiento de las plantas, fijación del fósforo y nitrógeno [10]. Las zeolitas son minerales de origen volcánico con una estructura cristalina tridimensional formada con poros y canales, que pueden ser utilizadas para eficientar el uso de fertilizantes [11]. Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue

investigar mediante dos bioensayos realizados en condiciones de laboratorio e invernadero, el efecto de NTCM y NPsOG en la germinación de semillas y en el crecimiento de plantas de *R. sativus.*

2 I METODOLOGIA

Se realizaron dos experimentos: el primero consistió en imbibición de semillas de rábano con NPsOG y NTCM (0, 100 y 200 ppm); el segundo fue con aplicaciones foliares semanales de las mismas NPs. Se realizó en condiciones de agricultura protegida en un invernadero de tecnología media en el campo experimental del CIQA, en Saltillo, Coahuila.

2.1 Nanopartículas utilizadas y caracterización por microscopia TEM y Raman

Se evaluaron NTCM comerciales de 30-50 nm y 90% de pureza, adquiridos con la empresa NanoAmor Inc. New Mexico, USA. Las NPsOG fueron sintetizadas en CIQA y caracterizadas por las técnicas TEM y espectroscopía Raman. Como controles absolutos se utilizaron carbón mineral y grafito en tamaño micrométrico de origen natural de minas de la región y proporcionados por el Departamento de Síntesis de Polímeros.

2.2 Preparación de las soluciones con NPs

Las soluciones con los NTCM, NPsOG, micropartículas de carbón mineral y grafito fueron preparadas en concentraciones de 0, 100 y 200 mg L^{-1} en agua destilada y dispersadas con un sonicador Branson 2510, por 30 minutos.

2.3 Manejo del cultivo

Etapa de germinación. La siembra de las semillas de *Raphanus sativus* cv Champion (Fax de Occidente S.A. DE C.V.) fue en charolas de poliestireno de 200 cavidades con sustrato de peat moss. Antes de la siembra, las semillas se trataron con las soluciones conteniendo NPs, se dejaron imbibir durante 2 h para esta etapa se establecieron 5 tratamientos con 20 repeticiones cada uno. El tiempo de evaluación fue de 20 días.

Etapa de plántulas. Se prepararon dos mezclas diferentes de sustrato (70% peat moss + 30% perlita y 70% peat moss + 30% zeolita). La siembra se realizó en macetas de polietileno de 5 L de capacidad. Durante el desarrollo del cultivo se aplicó riego de acuerdo a la demanda hídrica de la planta y cada tercer día se fertilizó con una solución Hoagland, la duración del experimento fue de 45 días.

2.4 Aplicación de NPs a las plantas

La aplicación foliar de las NPs fue manual una vez por semana, tres aplicaciones en todo el periodo experimental, con aspersores de 20 mL de capacidad, se aplicó 1mL de las diferentes soluciones de NPs y el control absoluto fue agua destilada en la misma cantidad. Como controles se aplicaron las micropartículas de grafito y carbón mineral en las mismas

concentraciones. Al momento de la aplicación se agregó un adherente comercial, este producto es utilizado en agricultura que para facilitar la adherencia de cualquier producto químico en las hojas beneficiando la absorción.

2.5 Determinación del crecimiento y biomasa

Se midió altura de la planta, área foliar (LI-COR modelo LI-300, Lincoln, Nebraska, USA), número de hojas, índice de clorofila (Minolta SPAD 502), longitud de raíz, tamaño del bulbo (diámetro longitudinal y ecuatorial) y biomasa seca (hojas, tallo, raíz). Estas mediciones se hicieron al final del experimento en todas las plantas.

2.6 Análisis estadístico de datos

El diseño experimental empleado fue completamente al azar con cinco tratamientos y 20 repeticiones en el bioensayo 1 (etapa de germinación) los tratamientos se diseñaron de acuerdo a la concentración (ppm) de los nanomateriales (NPsOG ó NTCM), como se muestra a continuación:

T1= Control
T2= Grafito (100)
T3= Grafito (200)
T4= NPsOG (100)
T5= NPsOG (200)

T1= Control
T2= Carbon mineral (100)
T3= Carbon mineral (200)
T4= NTCM (100)
T5= NTCM (200)

En el bioensayo 2 se evaluaron seis tratamientos con cinco repeticiones en diseño factorial AxB. En donde el factor A fue el sustrato (Peat moss: perlita y peat moss: zeolita, 70:30 v/v); el factor B consistió en las concentraciones de NPsOG y NTCM según correspondiera (0, 100 y 200 ppm).

Cada maceta con 4 plantas fue una repetición. La distribución se presenta en la Tabla 1. La valoración de las variables fisiológicas se realizó mediante un análisis de varianza y prueba de rango múltiple Tukey ($p \leq 0.05$), con el software estadístico SAS-JMP versión 5.0.1 (SAS Institute, 2002).

Nanopartículas	Sustratos	
(ppm)	70:30 pm: p (v/v)	70:30 pm: z (v/v)
0	T1	T2
100	T3	T4
200	T5	T6

Ppm= partes por millón, v/v= proporciones mezcladas en base a volumen/volumen, pm= peat moss, p= perlita, Z= zeolita, T= tratamiento.

Tabla 1. Distribución de tratamientos del segundo bioensayo en el cual se aplicaron NPsOG y NTCM foliarmente.

3 I RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Caracterización microscópica de las nanopartículas de óxido de grafeno

En la Figura 1 se observa el espectro Raman, la cual es una técnica que permite estudiar los modos vibratorios y rotatorios de baja frecuencia dando lugar a bandas o señales que permiten medir el grado de hibridación molecular (orden o desorden) y predecir con ello algunas de sus propiedades. En este espectro en particular, se logra apreciar la banda D en 1200 cm^{-1} prácticamente con la misma intensidad que la banda G en aproximadamente 1600 cm^{-1}, lo que indica que la cantidad de átomos de carbono de hibridación sp^2 y sp^3 en la muestra es similar deduciendo la existencia de defectos que conllevan al desorden atómico en la estructura. La ausencia de la banda M indica que el material no es conductor.

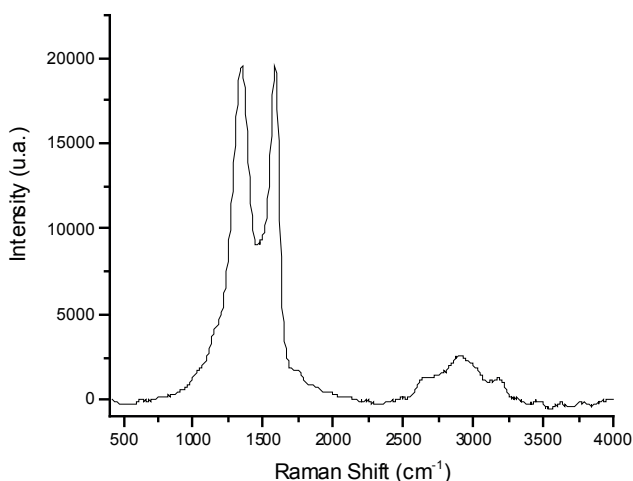



Figura 1. Espectroscopía Raman de nanopartículas de óxido de grafito

En la Figura 2 se presenta la imagen de Microscopía Electrónica de Transmisión, técnica que utiliza la potencia amplificadora de un haz de electrones para visualizar la imagen de un material. La imagen se construye observando la trayectoria de los electrones que lograron atravesar una muestra de muy bajo espesor. En esta imagen se observan láminas de grafeno con algunas micras de tamaño depositadas sobre una rejilla de carbono las cuales se encuentran empalmadas unas con otras.

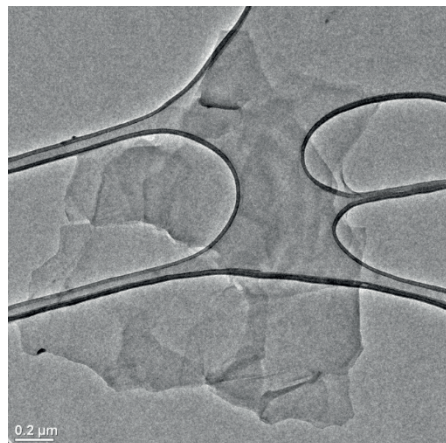



Figura 2. Imagen de microscopía TEM de las nanopartículas de óxido de grafito utilizadas.

3.2 Imbibición con NTCM y NPsOG y su efecto en la germinación de semillas rábano

La imbibición de las semillas de rábano con NPsOG durante 2 h antes de la siembra, provocó significativamente fitotoxicidad ($p \leq 0.05$) (Figura 3A); con 100 ppm (T4), la altura fue afectada en 23.73% (Figura 4A), número de hojas (19.15%, Figura 4B), diámetro de tallo (12.81%), biomasa fresca (54.47%, 4C) y biomasa seca (41.18%, Figura 4D) respecto al control (T1). Tanto el grafito en tamaño micrométrico como las NPs de óxido de grafito provocaron fitotoxicidad, pero se puede apreciar que las NPs a partir de 100 ppm causaron significativamente mayor daño en las plantas.

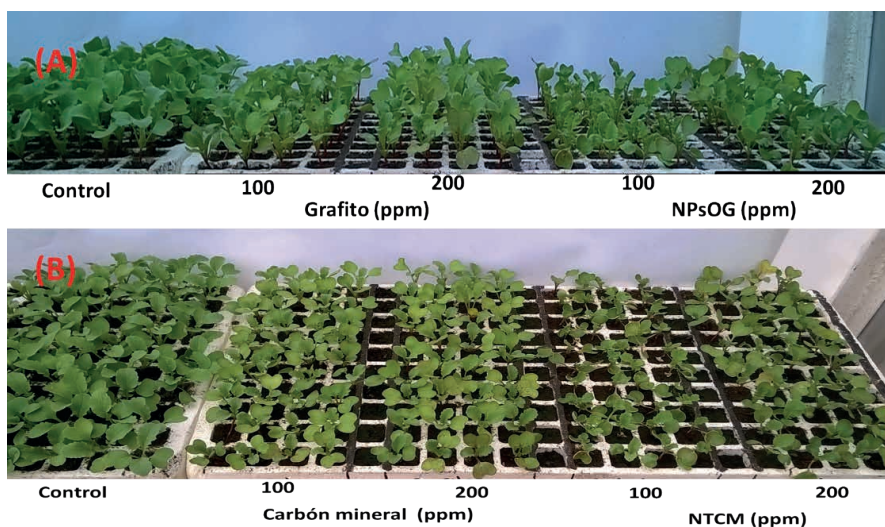



Figura 3. Efecto en el crecimiento de las plantas de rábano. (A) Imbibición de las semillas con micropartículas de grafito y NPsOG; (B) imbibición de las semillas con carbón mineral y NTCM.

La imbibición de las semillas de rábano con NTCM por 2 h antes de la siembra influyó en la fisiología de las plantas (Figura 3B), observándose que la concentración de 200 ppm (T5) causó significativamente fitoxicidad ($p \leq 0.05$). La altura de la planta en el T5 fue menor (15.41%, Figura 5A), biomasa fresca (27.68%, Figura 5B), la longitud de la raíz también fue afectada (13.57%, Figura 5C) y la biomasa seca se redujo en 41.18% (Figura 5D) en comparación con el tratamiento control (T1).

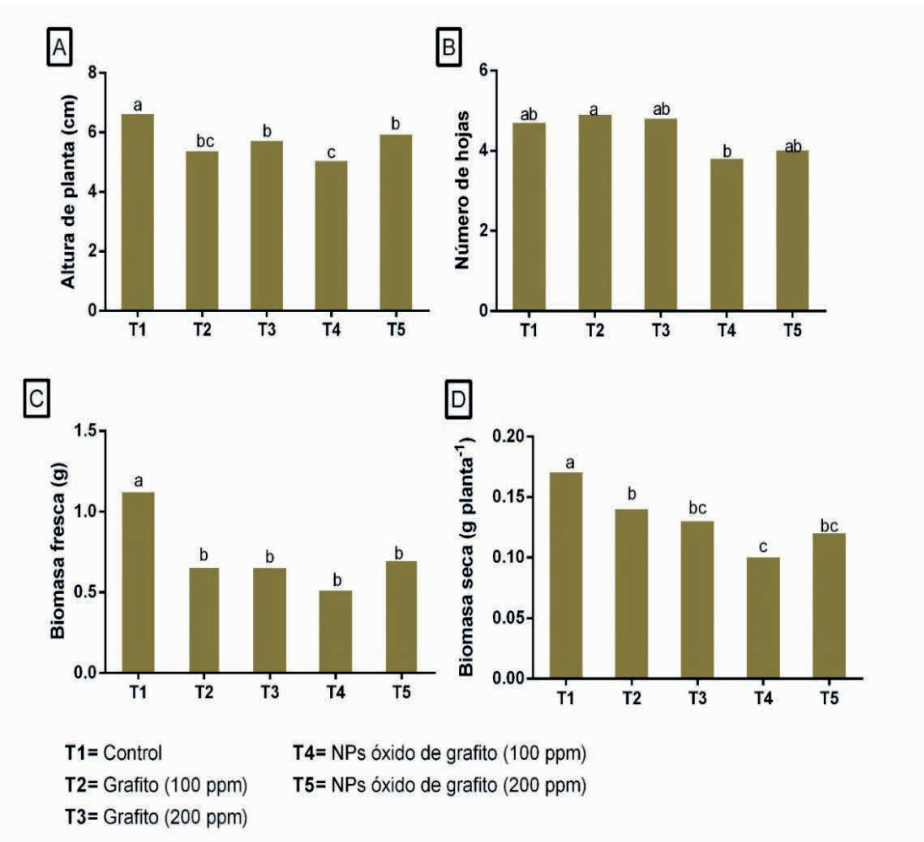



Figura 4. Imbibición de semillas de rábano con NPsOG y su repuesta en el crecimiento. (A) altura de planta, (B) número de hojas, (C) biomasa fresca y (D) biomasa seca. Letras diferentes en barras indica significancia estadística ($p \leq 0.05$).

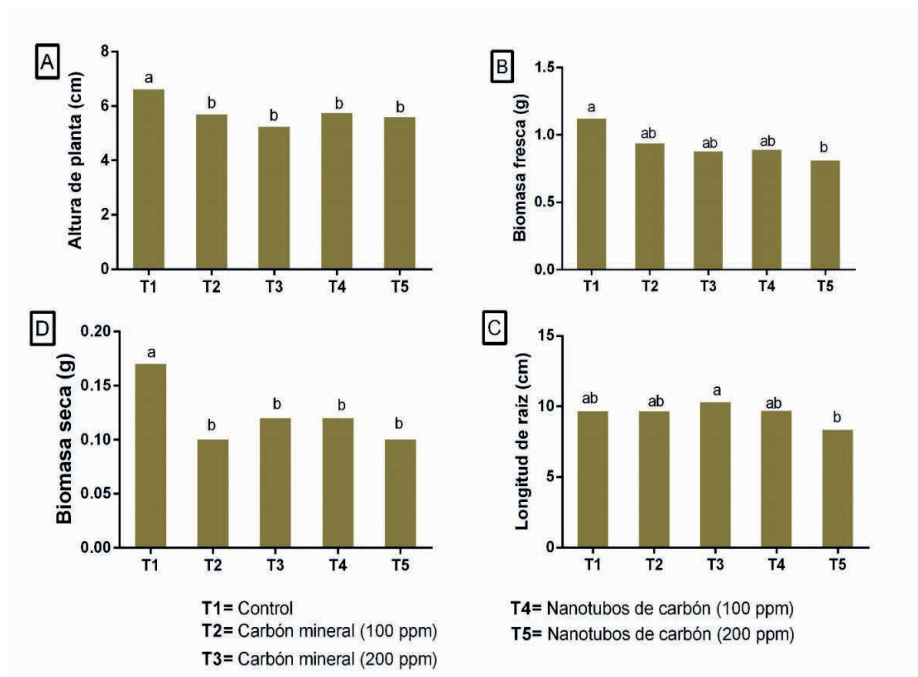



Figura 5. Imbibición de semillas de rábano con NTCM y su repuesta en el crecimiento de plantas de *Raphanus sativus*. (A) altura de planta, (B) número de hojas, (C) biomasa fresca y (D) biomasa seca. Letras diferentes en barras indica significancia estadística ($p \leq 0.05$).

3.3 Crecimiento de plántulas en invernadero

En la Tabla 2 se presentan los valores promedio de todas las repeticiones de los sustratos con zeolita (Factor A), la aplicación foliar de NPsOG (Factor B) y la interacción de ambos factores (A x B). El sustrato que contenía zeolita, promovió el crecimiento de las plantas expresándose en mayor área foliar (7%) y tamaño de bulbo (14.25%), en comparación con las plantas que fueron cultivadas con peat moss: perlita (70:30 v/v).

Tratamientos	Área foliar (cm^2)	Peso seco bulbo (g)	Biomasa seca (g)	Número de hojas	Índice clorofila (U Spad)
Sustratos					
70:30 (PM:P)	365.13 a	0.69 a	1.28 a	9.20 a	36.37 a
70:30 (PM:Z)	408.83 a	0.71 a	1.37 a	8.93 a	34.43 a
p≤ 0.05	0.257	0.836	0.572	0.385	0.332
NTCM (ppm)					
0	386.01 a	0.88 a	1.33 a	9.20 a	34.30 a
100	381.83 a	0.58 a	1.28 a	9.20 a	37.42 a
200	393.10 a	0.63 a	1.37 a	8.80 a	34.49 a
p≤ 0.05	0.969	0.157	0.879	0.469	0.362
Interacción					
0 + PM:P	441.93 a	1.14 a	1.54 a	9.60 a	35.14 a
0 +PM:Z	330.09 a	0.63 ab	1.12 a	8.80 a	33.46 a
100+PM:P	321.69 a	0.39 b	1.13 a	9.40 a	40.44 a
100+PM:Z	441.96 a	0.78 ab	1.43 a	9.00 a	34.40 a
200+PM:P	331.77 a	0.53 ab	1.18 a	8.60 a	33.54 a
200+PM:Z	454.43 a	0.73 ab	1.56 a	9.00 a	35.44 a
p≤ 0.05	0.025	0.022*	0.058	0.274	0.273

Valores con la misma literal en columnas no son significativos estadísticamente (P≤ 0.05). PM= peat moss, P = perlita, Z= zeolita, NTCM= nanotubos de carbono multiparedes. (70:30 indican las cantidades mezcladas en base a volumen-volumen).

Tabla 2. Producción de biomasa de plantas *Raphanus sativus* con la aplicación foliar de nanopartículas de óxido de grafito.

Por otra parte, las plantas que se aplicaron foliarmente 100 ppm de NPsOG, se observó un efecto fitotóxico (p≤0.05), expresando en menor altura (6.94%), diámetro de bulbo (16.48%), tamaño del bulbo (15.67%), de la misma manera el área foliar fue menor (30.17%) en las plantas que se aplicó NPs de grafito, la biomasa seca del bulbo se redujo significativamente (51.73%) y la biomasa seca de la parte aérea fue menor (28.58%) respecto al control (0 ppm) (Figura 6).

Tratamientos	Área foliar (cm^2)	Biomasa (g) Peso fresco bulbo	Biomasa fresca	Peso seco bulbo	Biomasa seca
Sustratos					
70:30 (PM:P)	332.74a	9.45b	16.86a	0.49b	1.08a
70:30 (PM:Z)	358.51a	13.92a	17.83a	0.78a	1.17a
p≤ 0.05	0.424	0.018**	0.590	0.004**	0.485
NPs OG (ppm)					
0	393.65a	17.17a	19.44a	0.87a	1.26a
100	274.89b	7.11b	13.73b	0.42b	0.90ab
200	368.34ab	10.79b	18.86ab	0.61ab	1.20b
p≤ 0.05	0.013**	0.0004**	0.028*	0.002**	0.050*
Interacción					
0 + PM:P	414.37a	15.68ab	20.78a	0.74 abc	1.36a
0 +PM:Z	372.93a	18.65a	18.09a	0.99a	1.16a
100+PM:P	245.30a	5.56c	12.07a	0.30c	0.77a
100+PM:Z	304.48a	8.67bc	15.38a	0.55abc	1.04a
200+PM:P	338.54a	7.13bc	17.71a	0.44bc	1.11a
200+PM:Z	398.13a	14.44abc	20.02a	0.79ab	1.29a
p≤ 0.05	0.342	0.001**	0.354	0.002**	0.257

Valores con la misma literal en columnas no son significativos estadísticamente (p≤ 0.05). PM= peat moss o turba, P = perlita, Z= zeolita (70:30 indican las cantidades mezcladas en base a volumen-volumen), OG= nanopartículas de óxido de grafito.

Tabla 3**.** Efecto en el crecimiento de plantas de *R. sativus* con la aplicación foliar de nanotubos de carbono.

En la Tabla 3 se presentan los valores promedio de todas las repeticiones de cada uno de los tratamientos. Para el factor A (sustratos conteniendo zeolita), para factor B aplicación foliar de NTCM y la interacción de ambos factores (A x B). Los resultados indican que las plantas cultivadas en sustratos conteniendo zeolita presentaron un crecimiento superior, observándose en mayor área foliar (11.96%) y biomasa seca del bulbo (2.89%), en comparación a las plantas cultivadas en sustratos sin este aluminosilicato.

El índice de clorofila y número de hojas no mostró ningún cambio en los diferentes sustratos de siembra. Contrariamente la aplicación foliar de 100 y 200 ppm de NTCM causó cuantitativamente fitoxicidad en las plantas (Figura 7), expresándose en menor biomasa seca de bulbos (34 y 28.40% respectivamente). Los resultados de la interacción de sustrato con zeolita y nanopartículas no favoreció el crecimiento. Se observó menor crecimiento en las plantas cultivadas con sustrato contiendo zeolita y aplicación de NTCM.

Figura 6. Efecto de la aplicación foliar de NPsOG en el crecimiento de plantas de rábano. A) Control con aplicación foliar de agua destilada y B) aplicación foliar de NPsOG.

Los resultados de este trabajo indican que la imbibición de semillas con NPs derivadas del carbono antes de la siembra y la aplicación foliar después de la emergencia de las plántulas afecta negativamente el crecimiento. Aunque no existe una explicación clara sobre su efecto en la fisiología de la planta, diversos trabajos realizados en otras partes del mundo han demostrado que el uso de NPs derivadas del carbón tienen efecto fitotóxico cuando se aplicación concentraciones elevadas (100-1500 mg L^{-1}), los autores señalan que pueden estar asociados con la inducción de estrés oxidativo que generan los nanomateriales y que conjuntamente causan un desbalance del contenido de nutrientes y la reducción de la actividad fotosintética, limitando el crecimiento de las plantas [9].

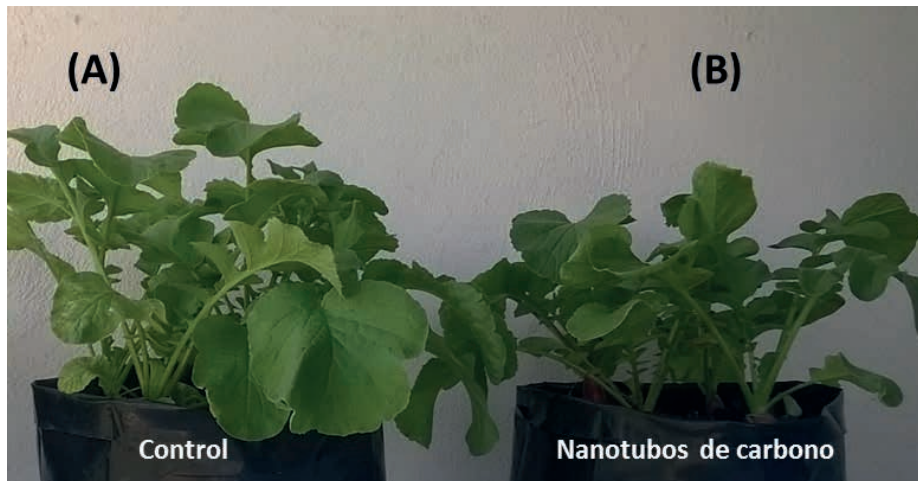



Figura 7. Efecto de la aplicación foliar de NTCM en el crecimiento de plantas de rábano. A) Control con aplicación foliar de agua destilada y B) aplicación foliar de NTCM.

Los pocos trabajos realizados con plantas no presentan resultados concluyentes, a si por ejemplo un estudio con semillas de lechuga, calabacita, tomate y espinaca a concentraciones de 2000 mg L^{-1} de NPs de grafeno provocaron fitotoxicidad de las plantas. Este estudio demostró que inducen un incremento de especies reactivas de oxigeno (ROS), causando daño celular y lesiones necróticas por alta bioacumulación, concluyendo que el nivel de daño puede estar determinado por la dosis y tiempo de exposición; otros investigadores mencionan que generalmente dosis elevadas (2000 mg L^{-1}) provocan fuerte toxicidad [12] por cantidades elevadas de bioacumulación en los tejidos de las plantas, al respecto señalan que la aplicación de NPs generan una producción excesiva de ROS que tiene un efecto potencial en la síntesis de proteínas, lípidos y carbohidratos relacionados con el crecimiento; además, incrementan la actividad enzimática de la catalasa y peroxidasa; y alteran las concentraciones de ácido indolacético y absícico que están estrechamente relacionando con el crecimiento [13]. Ha sido señalado también que altas concentraciones de grafeno podrían provocar daño masivo de las membranas celulares e inducir una fuga exagerada de electrolitos, que pueden afectar el transporte de agua y solutos incrementándose el estrés oxidativo de las plantas y reflejando en una menor tasa de crecimiento [14].

Por otra parte, los nanomateriales grafénicos a altas concentraciones (50, 100 y 200 mg L^{-1}) afectan negativamente el crecimiento de las plantas. La toxicidad podría ser un efecto del deterioro del crecimiento de las raíces, el incremento del estrés oxidativo, el desequilibrio de la homeostasis de los nutrientes y la inhibición de la fotosíntesis [9]. La alta producción de Especies Reactivas de Oxigeno (ERO) inducida por los nanomateriales derivados del carbón podría ser el responsable de la inhibición del crecimiento y la baja

producción de biomasa [12]. Las altas concentraciones y el tiempo de exposición de las NPs podrían ser dos factores importantes que inhiben el crecimiento de las plantas y la germinación de las semillas [15], además bioquímicamente alteran algunos procesos metabólicos, como alta acumulación de ácido absícico que afecta las concentraciones de ácido indolacético alterando negativamente el crecimiento de las plantas [16].

4 I CONCLUSIONES

La imbibición de las semillas con NTCM y NPsOG a concentraciones de 100 y 200 mg L^{-1} antes de la siembra y su posterior aplicación foliar semanal durante 45 días, provocó fitoxicidad. Estos resultados preliminares sugieren que estas NPs afectan el crecimiento y desarrollo del cultivo, sin embargo, se necesitan hacer más investigaciones referentes a este tema.

AGRADECIMIENTOS

El apoyo financiero para la realización de este trabajo fue proporcionado por el CIQA mediante el Proyecto número 6241. B. Méndez Argüello agradece al CONACYT por la beca número 230282 para su estancia posdoctoral.

REFERENCIAS

1. M.S. Mohamed y D.S. Kumar, (2016). Effect of nanoparticles on plants with regard to physiological attributes. In Plant Nanotechnology. Springer International Publishing, pp. 119-153.

2. A. Razzaq, R. Ammara, H.M. Jhanzab, T. Mhamood, A. Hafeez y S. Hussain. (2016). A novel nanomaterial to enhance growth and yield of wheat. Journal of Nanoscience and Technology, V. 2, No.1, pp. 55–58.

3. S.D. Ebbs, S.J. Bradfield, P. Kumar, J.C. White, C. Musante y X. Ma. (2016). Accumulation of zinc, copper, or cerium in carrot (Daucus carota) exposed to metal oxide nanoparticles and metal ions. Environmental Science: Nano, V. 3, No. 1, pp. 114-126.

4. S.V. Raskar y S.L. Laware. (2014). Effect of zinc oxide nanoparticles on cytology and seed germination in onion. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, V. 3, No. 2, pp. 467-473.

5. M.R. Naderi y A. Danesh-Shahraki. (2013). Nanofertilizers and their roles in sustainable agriculture. International Journal of Agriculture and Crop Sciences, V. 5, No. 19, pp. 2229-2232.

6. R. Grillo, P.C. Abhilash, y L.F. Fraceto. (2016). Nanotechnology applied to bio-encapsulation of pesticides. Journal of Nanoscience and Nanotechnology, V. 16, No. 1, pp. 1231-1234.

7. M. Kah, A.K. Weniger y T. Hofmann. (2016). Impacts of (nano) formulations on the fate of an insecticide in soil and consequences for environmental exposure assessment. Environmental Science and Technology, V. 50, pp. 10960–10967.

8. A. Mondal, R. Basu, S. Das, y P. Nandy. (2011). Beneficial role of carbon nanotubes on mustard plant growth: an agricultural prospect. Journal of Nanoparticle Research, V. 13, No. 10, pp. 4519-4528.

9. P. Zhang, R. Zhang, X. Fang, T. Song, X. Cai, H. Liu y S. Du. (2016). Toxic effects of graphene on the growth and nutritional levels of wheat (Triticum aestivum L.): short and long term exposure studies. Journal of Hazardous Materials, V. 317, pp. 543-551.

10. Rameshaiah, G.N. y JPallavi, S. (2015). Nano fertilizers and nano sensors–an attempt for developing smart agriculture. International Journal of Engineering Research and General Science, V. 3, No. 1, pp. 314-320.

11. A.C. De Campos Bernardi, J.C. Polidoro, M.B. de Melo Monte, E.I. Pereira, C.R. de Oliveira, y K. Ramesh. (2016). Enhancing Nutrient Use Efficiency Using Zeolites Minerals-A Review. Advances in Chemical Engineering and Science, V. 6, No. 4, pp. 295-304.

12. P. Begum, R. Ikhtiari, y B. Fugetsu. (2011). Graphene phytotoxicity in the seedling stage of cabbage, tomato, red spinach, and lettuce. Carbon, V. 49, No. 12, pp. 3907-3919.

13. F.Cheng, Y.F Liu, G.Y. Lu, X.K. Zhang, L.L. Xie, C.F. Yuan y B.B. Xu. (2016). Graphene oxide modulates root growth of Brassica napus L. and regulates ABA and IAA concentration. Journal of Plant Physiology, V. 193, pp. 57-63.

14. M.C. Martínez-Ballesta, L. Zapata, N. Chalbi y M. Carvajal. (2016). Multiwalled carbon nanotubes enter broccoli cells enhancing growth and water uptake of plants exposed to salinity. Journal of Nanobiotechnology, V. 14, No. 1, pp. 1-10.

15. S. Liu, Wei, H., Li, Z., Li, S., Yan, H., He, Y. y Tian, Z. (2015). Effects of graphene on germination and seedling morphology in rice. Journal of nanoscience and nanotechnology, V. 15, No.4, pp. 2695-2701.

16. J. Jiao, Cheng, F., Zhang, X., Xie, L., Li, Z., Yuan, C. y Zhang, L. (2016). Preparation of graphene oxide and its mechanism in promoting tomato roots growth. Journal of Nanoscience and Nanotechnology, V. 16, No.4, pp. 4216-4223.

SIMULACIÓN NUMÉRICA MICROESTRUCTURAL EN EL ESTUDIO DEL MAQUINADO DE ACEROS AL CARBONO RESULFURADOS

Data de aceite: 02/06/2023

Pablo Alejandro Correa
Universidad Tecnológica de Pereira

Edwan Anderson Ariza
Universidad Tecnológica de Pereira

RESUMEN: Las inclusiones de sulfuro de manganeso (MnS) son compuestos no metálicos formados en acero por la reacción entre azufre (S) y manganeso (Mn). La formación de inclusiones de MnS es esperada y deseada durante el proceso de manufactura de aceros en los que la maquinabilidad es una característica importante. Durante el mecanizado, estas inclusiones tienen un efecto de concentración de esfuerzos en el acero que facilita el rompimiento de la viruta. Este efecto está determinado por factores como el tamaño, la forma y la distribución de las inclusiones en la matriz metálica. Varios estudios experimentales han sido realizados para estudiar estos factores, sin embargo, no existen modelos numéricos consolidados sobre este tema. El presente trabajo estudió, mediante un modelo numérico computacional, la relación entre la microestructura de dos aceros para construcción mecánica (composición base AISI 1045) y su maquinabilidad. El modelo numérico propuesto se enfocó en el estudio de los campos de esfuerzo generados en el acero durante los procesos de corte, considerando varios aspectos microestructurales (principalmente las inclusiones de MnS). Los esfuerzos resultantes se simularon con base en mediciones experimentales de las fuerzas de corte y de avance durante el torneado. Fue observada una buena correlación entre el modelo numérico y los resultados experimentales. El análisis numérico evidenció que las inclusiones actúan como concentradores de esfuerzos y que su morfología y distribución influyen en la maquinabilidad del material.

PALABRAS CLAVE: método de elementos finitos, acero resulfurado, inclusiones de MnS, campos de esfuerzo, mecanizado.

MICROSTRUCTURAL NUMERICAL SIMULATION IN THE STUDY OF THE MACHINING OF RESULFURIZED CARBON STEELS

ABSTRACT: Manganese sulfide (MnS) inclusions are non-metallic compounds formed in steel by the reaction between sulfur (S) and manganese (Mn). The formation of

MnS inclusions is expected and desired during the manufacturing process of steels in which machinability is an important characteristic. During machining, such inclusions have a stress concentration effect on the steel that facilitates chip breaking. This effect is determined by factors such as the size and shape of the inclusions, and their distribution in the metal matrix. Several experimental studies have been carried out to study these factors, however, there are no consolidated numerical models on this subject. The present work studied, through a numerical model, the relationship between the microstructure of two steels for mechanical construction (AISI 1045 base composition) and their machinability. The proposed numerical model focused on the study of the stress fields generated in the steel during cutting processes, considering various microstructural aspects (mainly MnS inclusions). The resulting stresses were simulated based on experimental measurements of cutting and feed forces during turning. A good correlation between the numerical model and the experimental results was observed. The numerical analysis confirmed that the inclusions act as stress concentrators and that their morphology and distribution influence the machinability of the material.
KEYWORDS: finite element method, resulfurized steel, MnS inclusions, stress fields, machining.

INTRODUCCIÓN

Los aceros resulfurados son aleaciones ferrosas con bajo y medio contenido de carbono (0.15-0.45 %C, en peso) con adiciones de azufre (0.12-0.6 %S, en peso). Mediante la adición de manganeso (1.1-1.5 %Mn, en peso) se promueve la formación de inclusiones no metálicas de sulfuro de manganeso (MnS) con el fin de facilitar la remoción de material durante el maquinado, permitiendo la obtención de mayores tazas de remoción de material, mejor acabado superficial, menor consumo de energía y la extensión de la vida útil de la herramienta de corte [1,2]. Estos aceros son comúnmente utilizados en la fabricación de partes automotrices como ejes, pasadores y tuercas. Dado que el costo de producción de un acero resulfurado es mayor que el acero correspondiente con bajo contenido de carbono, es necesaria una considerable reducción en los costos de maquinado. El aumento en las velocidades de corte respecto de las contrapartes de bajo azufre puede ser hasta de 100% [2]. Por otra parte, la presencia de inclusiones de MnS puede afectar negativamente varias propiedades mecánicas como la resistencia, la dureza, la corrosión, la soldabilidad y la tenacidad fractura [1,2,3]. Durante la producción del acero es posible controlar la morfología (forma, tamaño y distribución) de las inclusiones de MnS, la cual es influenciada por el proceso de desoxidación del acero fundido antes del vaciado de los lingotes y por los subsecuentes procesos de laminado en caliente [1,2]. Aunque existe una gran variedad de aceros resulfurados, los aceros con bajo contenido de carbono son la categoría comercial con mayor volumen de producción [2].

El uso del acero en diferentes condiciones industriales también es posible mediante la obtención de componentes, utilizando procesos de fabricación como la conformación mecánica y el mecanizado. El mecanizado es un proceso fundamental, y gran parte de

los costes relacionados con la fabricación están asociados a él. En los Estados Unidos, el costo anual relacionado con la remoción de material se ha estimado en alrededor del 10% del producto interno bruto [2]. Por tanto, el estudio de estos procesos es de gran importancia tanto desde el punto de vista científico como tecnológico.

El desarrollo de procesos de mecanizado en el ámbito industrial se ha realizado, en la mayoría de los casos, de forma experimental a partir de procedimientos empíricos, que resultan costosos. El modelado numérico de procesos de mecanizado se ha convertido en una herramienta importante, ya que a través de su uso se pueden reducir significativamente los tiempos y costos involucrados en el análisis. Desde el inicio de su uso, la modelización para el estudio de procesos de mecanizado se ha realizado en varios trabajos para mejorar las técnicas de análisis e incluir la mayoría de las variables que intervienen en el proceso [3]. El rango de tamaño de las inclusiones presentes en el acero es de micrometros. Sin embargo, pueden tener un efecto significativo en las propiedades en escala macro durante el procesamiento. Por lo tanto, se requiere modelar a microescala para comprender el comportamiento de las inclusiones en una matriz de acero [3].

Este trabajo tiene como objetivo principal investigar la maquinabilidad, en términos de un menor consumo energético, de aceros al carbono resulfurados, mediante el uso del método de los elementos finitos (MEF). Se buscó la construcción de un modelo numérico computacional que permitiera relacionar la microestructura de dos aceros de composición química nominal AISI 1045 Y AISI 1145 con los campos de esfuerzo debidos a las inclusiones de MnS, durante el proceso de torneado. Los resultados numéricos fueron correlacionados con datos experimentales para la validación del modelo.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

La manufactura es una parte importante del sector industrial y juega un papel vital en la economía mundial. Mientras que el sector industrial representa alrededor del 31% del consumo total de energía, la manufactura representa alrededor del 60% del consumo de energía en el sector industrial [4]. En términos generales la manufactura convierte las materias primas en productos, utilizando energía eléctrica al mismo tiempo que genera desechos y emisiones. Dado que los recursos de energía eléctrica son generados predominantemente a través de la quema de combustibles fósiles, el consumo de energía eléctrica en la manufactura genera huellas de carbono. Por esta razón, existe una necesidad urgente de reducir el consumo de energía en la manufactura para reducir las emisiones CO2.

El mecanizado es un grupo importante de procesos de fabricación, y la reducción del consumo energético en estos procesos es fundamental para la reducción de emisiones contaminantes. Los procesos de mecanizado son técnicas de conformado mecánico de

alta precisión, sin embargo, son costosos y deben satisfacer exigentes criterios tanto de productividad, seguridad y gasto energético [5]. Estos aspectos son afectados por la vida útil de la herramienta, la cual determinará la calidad y la integridad de la superficie de la pieza mecanizada, el número de piezas fabricadas y la potencia consumida durante el maquinado. A pesar de su importancia, la vida de la herramienta solo puede medirse indirectamente al monitorear una curva de desgaste, la cual depende de las condiciones de corte y el criterio utilizado como fin de vida útil. El modelo de Taylor [6] fue el primero en relacionar la vida útil del filo de la herramienta de corte y las condiciones de corte. Este modelo permitía caracterizar la vida de la herramienta utilizando los parámetros de corte, el tipo de material y la geometría de la herramienta (radio, preparación del filo, rompevirutas). Sin embargo, existen una gran cantidad de factores del material (rugosidad, dureza superficial, esfuerzos residuales) como del proceso (condiciones de corte, material de la herramienta, geometría de la herramienta, rigidez de la máquina) que afectan la capacidad de corte de las herramientas [5].

Con el fin de obtener mejoras en los procesos de corte han sido propuestas modificaciones en la composición química de los aceros para maquinado, las cuales dieron origen a los aceros de libre mecanizado. Estos son aceros al carbono con aditivos como S, Pb, Sn, Se, Te o Bi, que se agregan para mejorar la maquinabilidad. Los aceros de libre mecanizado contribuyen significativamente a la reducción de costos de maquinado con fuerzas de corte más bajas y mayor vida útil de la herramienta [5,2]. Sus principales ventajas son las virutas cortas y la reducción de la longitud de contacto entre la viruta y la herramienta, lo cual reduce a su vez la fricción, el calor disipado, el desgaste de herramientas, y el consumo de energía. Los aceros de corte libre pueden dividirse en cuatro subtipos principales [5]: con plomo (Pb), resulfurado (S), refosforado (P) y resulfurado (P+S), y súper (Te + Se + Bi). A continuación, se mencionan algunos de los aspectos principales relacionados con el maquinado de los aceros resulfurados del tipo (S), los cuales forman principalmente inclusiones de sulfuro de manganeso (MnS).

Las inclusiones de sulfuro de manganeso (MnS) se forman por la reacción entre el azufre (S) y el manganeso (Mn). El azufre presente en el acero proviene principalmente del coque [7]. Por otra parte, el manganeso se utiliza como elemento de aleación, ya que mejora algunas de las propiedades mecánicas del acero, como la resistencia mecánica y la dureza, y principalmente por su efecto desulfurante, que inhibe la formación de inclusiones tipo FeS, que son más dañinas que las de MnS. El manganeso se especifica generalmente en contenidos que varían entre 0,10 y 0,23% en aceros al carbono y hasta 1,65% en aceros resulfurados [7,8]. Hay varios aspectos importantes de las inclusiones que deben considerarse al evaluar su influencia en las propiedades mecánicas de los aceros, como el tamaño, la distribución y la morfología. Estos aspectos están directamente relacionados con el proceso utilizado para la producción de acero [2].

Durante el mecanizado, las inclusiones de MnS cumplen tres funciones [1,9]:

(a) inducen concentraciones de esfuerzos en el material que se deforma, reduciendo el consumo de energía para el corte y facilitando la fractura de la viruta; (b) disminuyen la adhesión entre la viruta y la herramienta; y (c) sirven como barreras para la difusión. Estas funciones dependen de la manera en que las inclusiones de MnS se deforman durante el mecanizado. Es decir, si las inclusiones de MnS se deformaran durante el mecanizado tanto como la matriz de acero, el flujo plástico sería homogéneo durante el proceso. En esta situación, la concentración de esfuerzos debida a las inclusiones sería mínima, y debida exclusivamente a las diferencias en las constantes elásticas de la matriz y de la inclusión [1]. En el caso de inclusiones de MnS que no se deformen, la fracción volumétrica de MnS en la interfaz herramienta-viruta será baja debido a la deformación de inclusión inducida durante el proceso de corte. En este sentido las inclusiones de MnS disminuirán su capacidad de reducir la restricción de flujo en esa superficie, por una parte, y su capacidad como barreras para la difusión, por otra.

OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo tiene como objetivo principal investigar la maquinabilidad, en términos de un menor consumo energético, de aceros al carbono resulfurados, mediante el uso del método de los elementos finitos (MEF).

Los objetivos específicos están orientados a:

Investigar el efecto concentrador de esfuerzo de las inclusiones de MnS, en función de sus propiedades mecánicas de elasticidad y su factor de forma.

Mejorar el entendimiento de los mecanismos de deformación de la inclusiones de MnS en la zona de cizallamiento mediante simulación numérica computacional

Investigar el efecto de las interacciones entre campos de esfuerzo generados entre los microconstituyentes de los aceros estudiados: inclusión/matriz e inclusión/ferrita/perlita.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para este trabajo fueron utilizados dos aceros tipo AISI 1045 Y AISI 1145, cada uno con diferente contenido de azufre en su composición química. La Tabla 1 presenta las composiciones químicas nominales de los aceros estudiados.

ACERO	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Ni	%Mo
1045	0.43-0.5	0.15-0.35	0.6-0.9	0.04 máx.	0.05 máx.	0-0.2	0-0.25	0.06
1145	0.43-0.5	0.15-0.35	0.6-0.9	0.04 máx.	0.05-0.1	0-0.2	0-0.25	0.06

Tabla 1. Composición química nominal de los aceros estudiados. [7]

Los métodos aquí presentados están divididos en dos categorías principales: los procedimientos experimentales y el modelo numérico. Los métodos experimentales

incluyeron caracterizaciones microstructurales por microscopía óptica y microscopía electrónica de barrido; caracterización mecánica (dinámica) por barra de Hopkinson y ensayos de doblamiento; y la medición de fuerzas de corte mediante galgas extensiométricas.

Caraterización microestructural

Las muestras de los aceros fueron lijadas y pulidas para posterior ataque químico. Fue utilizado el reactivo tipo Nital (3%) para el revelado de las microestructuras. La caracterización microestructural fue realizada tanto en las secciones longitudinales como transversales de los materiales estudiados. Fueron analizadas un mínimo de 50 regiones en las imágenes obtenidas, con el fin de tener representatividad estadística de los resultados.

Un microscópico óptico Olympus equipado con el sistema digital de adquisición de imágenes Leica-Qwin, fue utilizado para la digitalización de las microestructuras. Fue determinada la fracción volumétrica de perlita por medio de la técnica de estereología cuantitativa, basada en la identificación, caracterización y cuantificación relativa de las fases presentes en las micrografías digitalizadas. Esta técnica también fue utilizada para determinar la proporción entre la fase matriz de acero y la segunda fase (inclusiones de MnS). Mediante microscopía electrónica de barrido, utilizando un microscopio Philips tipo XL-30, fueron caracterizadas las microestructuras para la estimación de la composición química de las fases y para la observación de su comportamiento mecánico a partir de ensayos de doblamiento.

Caracterización mecánica (dinámica)

Debido a que las tazas de deformación generadas durante el maquinado son del orden de 10^4 s^{-1} [2] es importante la caracterización mecánica (dinámica) del material para la validación del modelo numérico. La caracterización dinámica de los materiales fue realizada mediante un ensayo de barra de Hopkinson. Los detalles del ensayo pueden ser consultados en Kolsky [10]. Fueron ensayados cuerpos de prueba obtenidos de secciones transversales y longitudinales de los dos materiales. Dos valores promedio de la tasa de deformación fueron utilizados en los ensayos: 1000 y 2400 s^{-1}, obtenidos indirectamente mediante dos presiones de impacto calibradas en la pistola neumática, usando 200 kPa y 400 kPa (2 y 4 bares), respectivamente. Los cuerpos de prueba fueron fabricados en forma de anillos con 2 mm de espesor y diámetros interior y exterior de 9 y 10 mm, respectivamente. Los resultados experimentales obtenidos de los ensayos de barra de Hopkinson fueron utilizados para el modelado numérico de la matriz homogénea para condiciones de altas tasas de deformación y para la discusión de la deformación plástica de las fases.

Medición de las fuerzas de corte en torneado

Fueron evaluadas las fuerzas de corte durante el torneado de los dos materiales y los resultados de estas mediciones fueron utilizados para determinar los esfuerzos aplicados en los modelos numéricos. La Figura 1 muestra una representación esquemática

del proceso de torneado, indicando las direcciones de las fuerzas de corte: fuerza de corte (Fc), fuerza de avance (Fa) y fuerza pasiva (Fp).

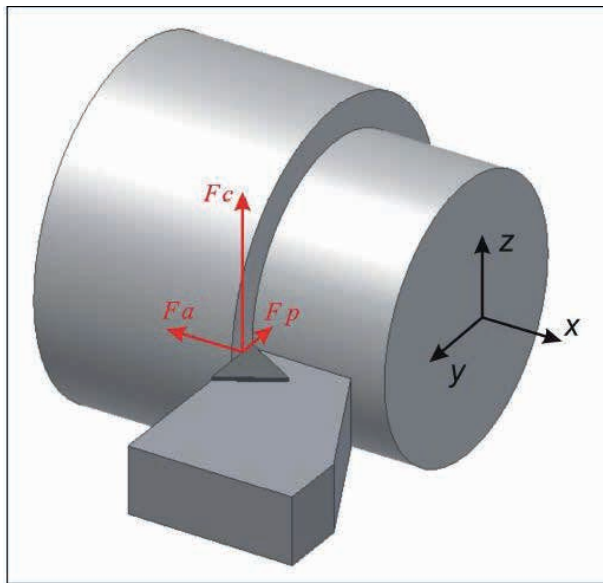



Figura 1. Representación esquemática del proceso de torneado.

Mediante galgas extensiométricas adaptadas a un porta-herramientas fueron medidas la fuerza de corte (Fc) y la fuerza de avance (Fa) durante los ensayos de torneado. Fue utilizado un dinamómetro en contacto con el porta-herramientas instrumentado para su calibración. La adquisición de datos fue realizada mediante una tarjeta tipo ADS 2000 y procesados mediante el software Aqdados (Lynx Electrónica Ltda.). La tasa de adquisición fue de 5000 Hz, con un tiempo de adquisición entre 3 y 5 s, utilizando filtros para el ajuste de sensibilidad de los canales (calibración con dinamómetro).

Fue utilizado un torno universal ROMI 30, con una herramienta plana de carburo de tungsteno (TPNM 160304), con ángulos de salida y de incidencia de +4° y 7°, respectivamente. No fue utilizado fluido de corte en los ensayos. Los cuerpos de prueba cilíndricos de 50 mm de diámetro y 150 mm de longitud fueron fijados mediante 3 mordazas sin uso de contrapunto. Mediante el control de los parámetros de corte fueron mantenidas las condiciones de estado plano de deformación durante los ensayos [11]. Los parámetros de corte utilizados fueron: avance de 0.205 mm/rev. y profundidad de corte de 1 mm. Las velocidades de corte utilizadas fueron de 15, 50, 110 y 190 mm/s. Fueron realizadas cinco repeticiones para cada velocidad de corte.

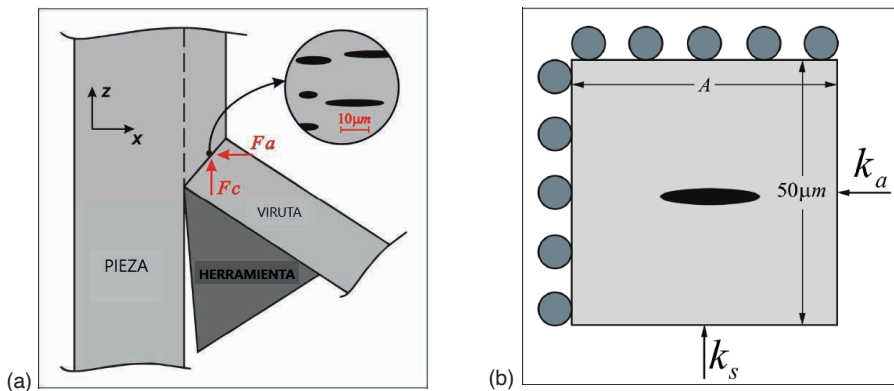
Análisis numérico

El análisis numérico planteado tuvo en cuenta los siguientes aspectos microestructurales: morfología y distribución de las inclusiones de MnS y fracción

volumétrica de perlita.

Modelo microestructural (propiedades mecánicas y fuerzas de corte)

La Figura 2a muestra una representación esquemática del corte ortogonal y la localización de la región de material seleccionada para la construcción del modelo. La región seleccionada para el modelo tuvo un tamaño entre 2500 y 4000 μm^2 en las inmediaciones del plano de corte en torneado ortogonal. Fue asumido que la región analizada aún no ha sufrido deformación y el instante considerado es del inicio de la deformación de la región.

Para el modelo numérico (Figura 2b), inicialmente se investigó la relación entre los campos de esfuerzo generados por las inclusiones de MnS en una matriz homogénea de acero al carbono (AISI 1045), asumiendo un comportamiento homogéneo e isotrópico de las inclusiones y la matriz. La interface entre las inclusiones y la matriz metálica fue considerada continua. El módulo de elasticidad y el factor de forma de la inclusión fueron considerados variables para evaluar estos efectos. Las dimensiones de las inclusiones de MnS (longitud y espesor) utilizadas en los modelos se encuentran dentro del rango de tamaños encontrados en secciones longitudinales de las probetas, obtenidas mediante metalografía cuantitativa. En modelos posteriores las fases de ferrita y perlita fueron consideradas. La orientación de las inclusiones de MnS se asumió en la dirección de laminación del acero durante su proceso de fabricación (dirección *horizontal* en la Figura 2b). Las condiciones de frontera seleccionadas para el modelo permitieron el movimiento del grado de libertad 1 (dirección horizontal) para los nodos de la región superior y del grado de libertad 2 (dirección vertical) para los nodos de la región izquierda. Los *efectos de borde*[1] fueron asumidos en el modelo mediante la utilización de distancias suficientes entre los bordes y las inclusiones de MnS.

(a)
(b)
Figura 2. (a) Representación esquemática del proceso de corte ortogonal; (b) Modelo para el estudio numérico.

1 Los *efectos de borde* son respuestas numéricas (gráficas) engañosas obtenidas al final de la etapa de análisis sobre el dominio de elementos finitos. Sucede cuando no existe una distancia suficiente entre los bordes del modelo y la característica geométrica de interés.

Debido a que el efecto concentrador de esfuerzos de las inclusiones tiene el mismo comportamiento bajo condiciones de carga biaxial y bajo condiciones de esfuerzo cortante [12], sólo se analizó el modelo bajo carga biaxial. Los esfuerzos aplicados al modelo fueron basados en las fuerzas de corte medidas en los ensayos de torneado. Dado que el modelo propuesto se basa en el modelo de corte ortogonal bidimensional, no se tuvo en cuenta el efecto de la fuerza pasiva. La carga del modelo se aplicó a través de dos esfuerzos correspondientes a las fuerzas mostradas en la figura 2a. Estos esfuerzos son indicados en la figura figura 2b: *ks* (presión específica de corte) y *ka* (presión específica de avance). Como la fuerza de avance suele ser la mitad de la fuerza vanguardia, se adoptó que *ka* = ½ *ks*.

La resistencia mecánica de los materiales aumenta localmente en la región de corte debido a las altas tasas de deformación generadas por el maquinado. Por esta razón, las propiedades mecánicas asignadas a las fases fueron análogas a aquellas medidas bajo condiciones dinámicas de impacto. En el modelo se consideró un comportamiento elástico para la inclusiones de MnS y un comportamiento elastoplástico ideal con endurecimiento lineal para la matriz. Los valores de resistencia mecánica de la matriz utilizados fueron obtenidos a partir de los ensayos de barra de Hopkinson, usando valores promedio a partir de aquellos medidos para las velocidades de deformación evaluadas (aproximadamente 1000 y 2400 s^{-1}).

Simulación numérica computacional

Las simulaciones numéricas de este trabajo fueron realizadas mediante el uso del software comercial de análisis por elementos finitos ABAQUS® [13]. Fueron utilizados los módulos del programa *CAE* y *Estándar*, este último encargado de realizar el análisis numérico utilizando un método general de integración implícita. El módulo *CAE* es la unidad de preprocesamiento que, por medio de una interface gráfica, permite la generación de la geometría del problema, asignar las propiedades de los materiales, las cargas y la malla de elementos finitos sobre el dominio analizado, con el fin de generar el *archivo de entrada* (*.inp), para posterior análisis y el pos-procesamiento. El posprocesador es el entorno de visualización que opera en los archivos de salida (*.odb) y permite la interpretación de los resultados valores numéricos a través de procedimientos de visualización gráfica. Por su parte, el software ABAQUS no incluye herramientas que permitan generar mallas a partir de las fases presentes en una micrografía. Para este propósito fue utilizado el software de acceso abierto OOF2 (versión 2.0.4)[2], desarrollado en el Laboratorio de Ciencia de Materiales del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (*National Institute of Standards and Technology, NIST*) [14]. El uso de este software permite la generación de una malla de elementos finitos a partir de una microestructura, como presentado en la Figura 3.

2 Disponible en: http://www.ctcms.nist.gov/oof/oof2/

(a)

(b)

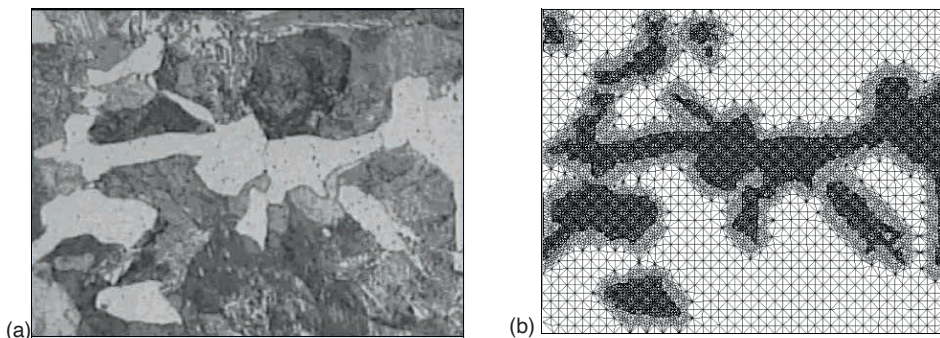



Figura 3. Generación de una malla de elementos finitos a partir de una micrografía mediante el software OOF2. (a) micrografía de un acero AISI 1145: ferrita (blanco) y perlita (gris); (b) malla de elementos finitos correspondiente, delimitando la región ferrítica.

El software OOF2 permite identificar en la micrografía (Figura 3a) grupos de píxeles de colores similares y agruparlos bajo *categorías*, a las cuales se asignan elementos finitos (Figura 3b). Las categorías de píxeles son delimitadas por los contornos de las fases, ajustados mediante métodos iterativos en el software OOF2. El *archivo de entrada* generado (una malla de elementos finitos en archivo *.inp), es importado al módulo CAE de ABAQUS® para asignar propiedades mecánicas (u otras) a las categorías de píxeles asignadas a grupos de elementos de la malla. Para la generación de la malla en OOF2 fueron seleccionados elementos finitos del tipo triangular y cuadrangular, con integración lineal y asumiendo deformación plana. Fueron refinadas principalmente las regiones cercanas a las fronteras entre las fases (Figura 3b), para evitar errores que pudieran afectar la convergencia de la solución numérica [13]. El número promedio de elementos en los modelos microestructurales varió entre 5000 y 28000.

Casos simulados

Una vez calibrado el modelo, la distribución de esfuerzos en las fases en la microestructura del acero estudiado fue simulada en diferentes casos. A continuación, se detallan cada uno de los casos simulados evaluados.

Caso 1: Esfuerzos en la matriz metálica inducidos por una inclusión alargada simplificada (a/b=5) y una inclusión real. El objetivo del primer caso de simulación fue evaluar la distribución del campo de esfuerzos y los valores máximos del esfuerzo generados por una inclusión simplificada y contrastarla con los resultados obtenidos de simulaciones idénticas con una inclusión de morfología real. En este caso fue simulada una inclusión elipsoidal con diámetros principales de 30 µm por 5 µm, localizada en el medio de una región de matriz de acero 1045, con ejes principales iguales a 50 µm y 100 µm. El valor del módulo de elasticidad de la inclusión fue 110 GPa y el módulo de elasticidad de la matriz metálica de acero fue 200 GPa.

Caso 2: Esfuerzos debidos a la variación del módulo de elasticidad de una inclusión alargada simplificada (a/b=5). En algunos estudios encontrados en la literatura, las inclusiones han sido tratadas como espacios vacíos dentro de la matriz metálica [15]. En este caso de estudio fue simulada una inclusión elipsoidal (30 µm por 5 µm), localizada en el medio de una región de matriz de acero 1045 (50 µm por 100 µm), para lo cual, fue importante estudiar la influencia de las propiedades de la inclusión (módulo de elasticidad) en los resultados numéricos. Los valores utilizados para el módulo de elasticidad de inclusión fueron: 0 (vacío), 10, 40, 80, 120, 180 y 220 GPa. Para el módulo de elasticidad de la matriz metálica de acero fue considerado un valor constante de 200 GPa.

Caso 3: Esfuerzos debidos a la variación del factor de forma de una inclusión simplificada. En este caso se extendió el estudio del efecto del módulo de elasticidad para diferentes factores de forma. Para cada uno de los 7 módulos de elasticidad de la inclusión simulados en el caso anterior, se evaluaron los factores de forma (a/b): 2.5, 3, 5, 6 y 10.

Caso 4: Interacciones entre inclusiones reales alargadas (a/b ≠ 1). Las interacciones (mecánicas/térmicas) entre las fases de un acero son complejas [16]. El tercer subgrupo de simulaciones tuvo como objetivo estudiar la interacción mecánica que ocurre entre los campos de esfuerzo generados por inclusiones reales, con distribución aleatoria, conforme observado en una microestructura real (inclusiones/matriz de acero).

Caso 5: Interacciones entre campos de esfuerzo en microestructura ferrita/perlita y ferrita/perlita/inclusiones. Con el objetivo estudiar la interacción entre los campos de esfuerzo generados por las principales fases del acero AISI1145 (ferrita/perlita/MnS), el último subgrupo de simulaciones consistió en dos simulaciones. En la primera simulación se estudiaron las interacciones entre los campos de esfuerzo de la ferrita y la perlita, sin considerar la fase de MnS. En la segunda simulación se estudió la interacción mecánica de las inclusiones MnS con la ferrita y la perlita en la matriz.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización microestructural

La Figura 4 muestra las micrografías de los aceros AISI 1045 (a) y 1145 (b) después de la preparación metalográfica. Mediante análisis de espectroscopia de rayos X de energía dispersiva fue posible confirmar que la composición química de las inclusiones corresponde a la fase de MnS. Mediante estereología cuantitativa, en las secciones longitudinales de los aceros, se determinó que las fracciones volumétricas de las inclusiones fueron aproximadamente 0.2% (1045) y 0.4% (1145). Ambos aceros presentaron aproximadamente las mismas fracciones volumétricas de ferrita y perlita. La longitud promedio de las inclusiones fue mayor en el acero 1145 (≈ 30 μm) que en el acero 1045 (≈ 22 μm). El espesor promedio de las inclusiones también fue mayor en el acero 1145

(≈ 2.5 μm) que en el acero 1045 (≈ 1.5 μm).

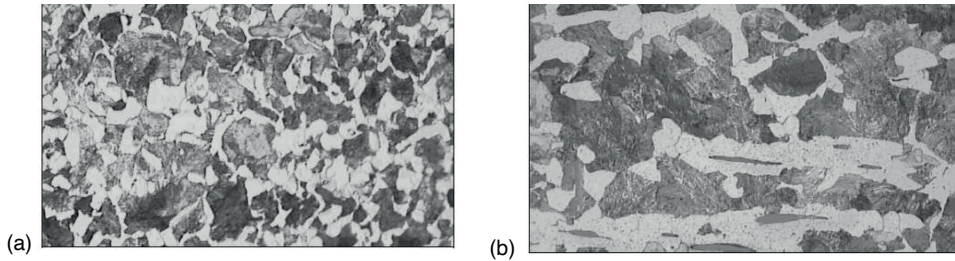



Figura 4. Micrografías de las secciones longitudinales de los aceros (a) 1045 y (b) 1145.

Caracterización mecánica (dinámica)

La Figura 5 muestra las curvas esfuerzo-deformación obtenidas mediante ensayos de barra Hopkinson en secciones longitudinales de aceros 1045 (Fig. 5a) y 1145 (Figura 5b).

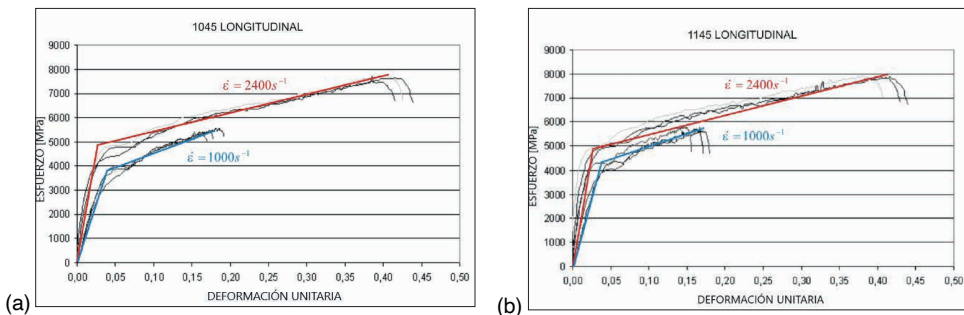



Figura 5. Curvas de esfuerzo-deformación obtenidas en ensayos de barra de Hopkinson para los aceros estudiados.

Los resultados obtenidos muestran un comportamiento mecánico similar para ambos aceros, presentando altos valores de esfuerzo de fluencia alrededor de 4700 MPa y resistencia última de 7700 MPa, correspondientes a la mayor tasa de deformación evaluada ($\dot{\varepsilon}$ = 2400 s^{-1}). Debe notarse que estos valores son aproximadamente 15 veces mayores a aquellos obtenidos en ensayos cuasi-estáticos de tracción para un acero AISI 1045 laminado en caliente[3] (310 MPa y 565 MPa). No fueron obtenidas diferencias significativas entre los ensayos realizados en secciones transversales y longitudinales de los cuerpos de prueba. Esto indica que no hay una fuerte influencia de la anisotropía, ni de la variación del contenido de azufre, de los materiales ensayados usando la técnica de barra de Hopkinson para las tasas de deformación evaluadas.

3 Matweb. AISI 1045 Steel, hot rolled. Disponível em: http://www.matweb.com/. Consultado el 12 de marzo de 2023

Los resultados experimentales obtenidos de los ensayos de barra de Hopkinson fueron utilizados para el modelado numérico de la matriz homogénea para condiciones de altas tasas de deformación y para la discusión de la deformación plástica de las fases en el modelo. Sin embargo, esta caracterización no fue posible para las fases individuales. Por esta razón, las propiedades mecánicas de los microconstituyentes en bajas tasas de deformación fueron utilizadas en modelos posteriores. La tabla 2 presenta las propiedades utilizadas en cada uno de los modelos.

	Módulo de elastici-dad **E [GPa]**	Coeficiente de Poisson v	Esfuerzo de fluencia **σ_y [MPa]**	deformación unitaria de fluencia s_y	Esfuerzo último **σ_u [MPa]**	deformación unitaria última s_u	Referencia
Matriz de acero AISI 1045	200	0.3	4800	0.04	7700	0.4	Ensayo de Barra de Hopkinson
Sulfuro de Man-ganeso (MnS)	110	0.3	-	-	-	-	Vignal et. al. (2003); Juvonen (2004)
Ferrita	200	0.3	200	0.0015	290	0.02	Nygards, Gudmundson (2002)
Perlita	200	0.3	700	0.0045	980	0.02	Nygards, Gudmundson (2002)

Tabla 2. Propiedades mecánicas de los materiales utilizadas según el modelo numérico.

Medición de las fuerzas de corte

Las probetas fueron torneadas en condiciones cercanas al corte ortogonal y estado de deformación plana y las fuerzas de corte se midieron durante el proceso. Durante las mediciones fue observado que la fuerza de avance (ver Figura 1) es aproximadamente la mitad de la fuerza de corte, mientras que la fuerza pasiva solo alcanza el 10% de la misma en condiciones de estado de deformación plana. La Figura 6 muestra la relación entre la presión de corte específica (ks) y la velocidad de corte (Vc) para los aceros estudiados. Aunque la dispersión en las mediciones fue alta, se observa que los valores de ks en el acero 1145 presentan una clara tendencia a ser menores que en el acero 1045.

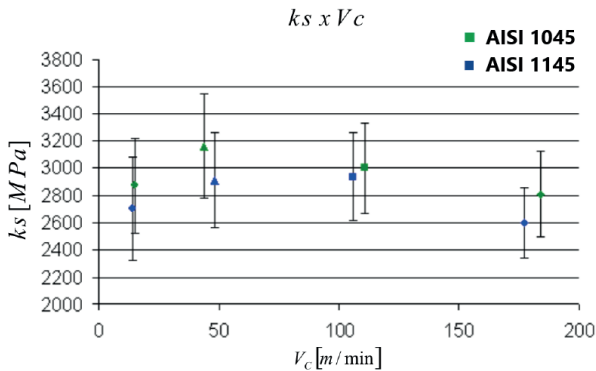



Figura 6. Resultados de la medición de presión específica de corte (*ks*) contra velocidad de corte (Vc) en torneado.

En función de los resultados medidos de la fuerza de corte, para los modelos numéricos se eligió una carga que pudiera garantizar la deformación plástica de la matriz. Las presiones específicas de corte a ser utilizadas en los modelos numéricos fueron ks= 10.000 MPa y ka = 5000 MPa, con excepción de los casos en que se incluyó la interacción ferrita/perlita o ferrita/perlita/inclusión, para los cuales se utilizaron valores de ks= 500 MPa y ka = 250 MPa.

Resultados numéricos

Caso 1: Esfuerzos en la matriz metálica inducidos por una inclusión alargada simplificada (a/b=5) y una inclusión real. La Figura 7 presenta la distribución de esfuerzos de von Mises (Fig. 7a) y la deformación plástica equivalente (Fig. 7b) en la matriz de acero debida a la presencia de una inclusión alargada, con factor de forma igual a 5. Como ha sido señalado anteriormente [12], bajo condiciones de carga biaxial, la concentración de esfuerzo en la matriz de acero se produce en regiones próximas a las puntas de las inclusiones. Este efecto concentrador de esfuerzos fue confirmado mediante el modelo numérico y mostró un patrón de expansión en forma de “X”, donde las regiones de la matriz que se encuentran cerca del centro de las inclusiones están menos esforzadas.

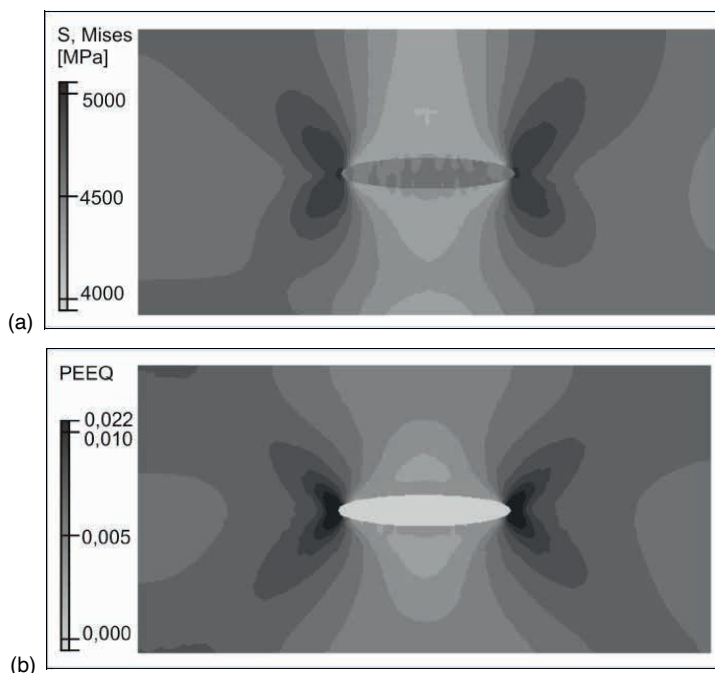



Figura 7. Esfuerzos de von Mises (a) y deformación plástica equivalente (b) en la matriz de acero para una inclusión simplificada alargada (factor de forma, a/b=5).

Se observa que en las regiones de mayor concentración de esfuerzo (regiones cercanas a la puntas de las inclusiones) se presentan los mayores valores numéricos, lo cual induce al inicio de la deformación plástica. Los gradientes de deformación muestran valores de hasta un 2.2% de deformación plástica de la matriz, valor para el cual se espera que ocurra la nucleación de grietas [17]. La Figura 8 muestra la evolución de los esfuerzos de von Mises (Fig. 8a) y de la deformación plástica equivalente (Fig. 8b) en función de los incrementos de carga en la región de la matriz cercana a las puntas de la inclusión, denominada como: “región crítica”. La región de la matriz cercana al centro de la inclusión será denominada: “región secundaria”.

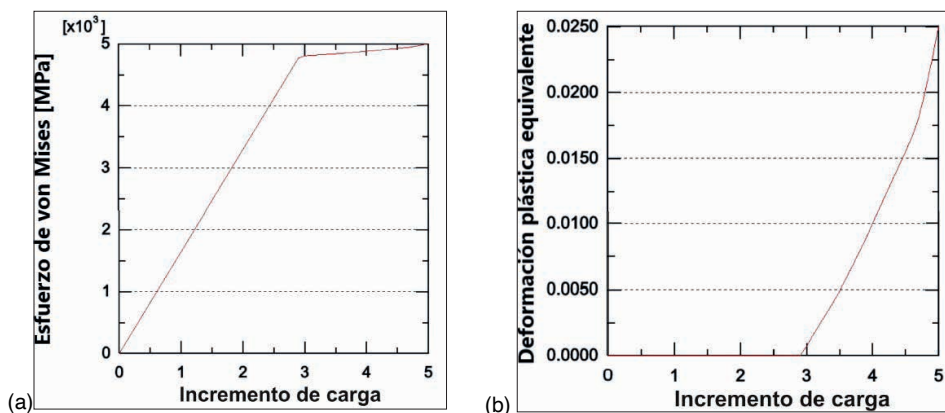



Figura 8. Evolución de los esfuerzos de von Mises (a) y la deformación plástica equivalente (b) en la región crítica de la matriz de acero para una inclusión simplificada alargada (factor de forma, a/b=5).

Puede observarse que el esfuerzo de von Mises (Fig. 8a) aumenta linealmente hasta aproximadamente el valor del esfuerzo de fluencia del material para altas tasas de deformación (4.8 GPa), donde ocurre una transición a otro comportamiento lineal con menor pendiente correspondiente al inicio de la deformación plástica (Fig. 8b). Esto indica que el comportamiento plástico de la matriz puede evaluarse adecuadamente usando el criterio de von Mises y presenta buena correlación con los datos experimentales.

Los resultados de la simulación realizada para estudiar los efectos de la morfología real de la inclusión de MnS se muestran en la Figura 9. El campo de esfuerzos generado por una inclusión real en la matriz presenta algunas diferencias cuando se compara con la generada por una inclusión de morfología simplificada (Fig. 7a). Sin embargo, la característica fundamental del campo de esfuerzo, es decir, la concentración de esfuerzos en las regiones cercanas a las puntas de las inclusiones, con un patrón de expansión en forma de “X”, se conserva. También puede observarse la existencia de algunos microcampos de concentración de esfuerzos en la periferia de la inclusión. Estos microcampos son generados por las características morfológicas de menor escala de tamaño que la forma de la inclusión. Estos sitios pueden ser preferenciales para la nucleación de grietas en la matriz que pueden conducir a la ocurrencia de fractura en el interior de la inclusión [17], ya que también son puntos de alta concentración de esfuerzos.

Figura 9. Esfuerzos de von Mises en la matriz de acero para una inclusión real (factor de forma, a/b=12).

Los resultados numéricos de esta simulación mostraron que, a pesar de la existencia microcampos de esfuerzo en la periferia de la inclusión, la simplificación de su morfología es adecuada para el entendimiento de la expansión del campo de esfuerzos de principal interés (el patrón en forma de “X”). En simulaciones posteriores, se utilizaron otras inclusiones con morfologías simplificadas y reales para el estudio de su influencia e interacción en el campo de esfuerzos resultante en la matriz metálica.

Caso 2: Esfuerzos debidos a la variación del módulo de elasticidad de una inclusión alargada simplificada (a/b=5). La Figura 10 muestra los esfuerzos de von Mises para dos módulos de elasticidad de inclusión: 0 GPa (Fig. 10a), es decir, considerando la inclusión como un vacío y 10 GPa (Fig. 10b). El módulo de elasticidad utilizado para la matriz de acero fue de 200 GPa. Pueden observarse grandes diferencias entre los campos de esfuerzo para pequeñas variaciones del módulo de elasticidad de la inclusión (ΔE = 10 GPa). Este resultado indica que el módulo de elasticidad de la inclusión no es un parámetro despreciable para las simulaciones numéricas. Comparaciones entre los valores del esfuerzo en la región crítica muestran que, en caso de considerar la inclusión como un vacío ($E = 0$), los esfuerzos pueden ser hasta 30% superiores que en el caso del módulo de elasticidad de 10 GPa.

(a)

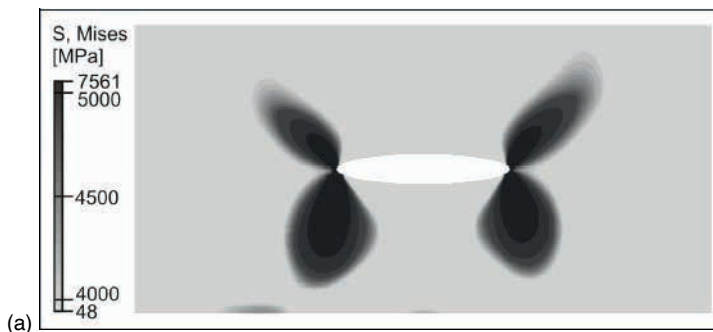
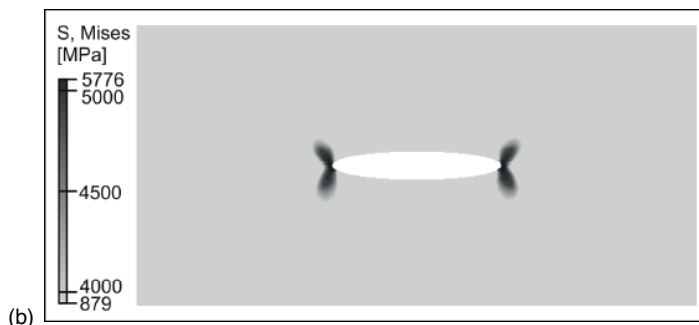



Figura 10. Esfuerzos de von Mises en la matriz de acero para dos módulos de elasticidad de una inclusión simplificada (a/b= 5): (a) 0 GPa y (b) 10 GPa.

La Figura 11 muestra la evolución del esfuerzo de von Mises en la región crítica para diferentes valores del módulo de elasticidad de una inclusión alargada (a/b = 6). Puede observarse que, para bajos valores del módulo de elasticidad de la inclusión, no solo el esfuerzo de fluencia se alcanza más rápidamente, sino que su valor aumenta más pronunciadamente. Así, un aumento en la rigidez de la inclusión reduce su efecto de concentración de esfuerzos. Para una inclusión de MnS (E = 110 GPa) el crecimiento del esfuerzo después de la fluencia no es tan pronunciado. El resultado anterior es contrario al encontrado por Antretter y Fischer [12] y Bellor y Herzog [8] quienes concluyeron que inclusiones más rígidas generan una mayor concentración de esfuerzos en la matriz metálica.

Caso 3: Esfuerzos debidos a la variación del factor de forma de una inclusión simplificada. En la literatura, no parece haber consenso en cuanto a la influencia del factor forma de las inclusiones en el campo de esfuerzos de la matriz metálica. Algunos autores, como Rubenstein y Shaw [8] o Antretter y Fischer [12] han señalado que las inclusiones con mayor excentricidad generan una mayor concentración de esfuerzos en la matriz. Algunos otros como Boulger [8] o Kiessling y Alabama [8] indicaron que son las inclusiones globulares las que provocan una mayor concentración de esfuerzos y, por tanto, son más eficaces para mejorar la maquinabilidad de los materiales. La Figura 12 muestra la evolución del esfuerzo de von Mises en la región crítica debido a diferentes factores de forma para dos módulos de elasticidad de la inclusión: 10 GPa (Fig. 12a) y 120 GPa (Fig. 12b).

Es observado que, para bajos módulos de elasticidad de la inclusión, la mayor concentración de esfuerzo es causada por las inclusiones con menor factor de forma. Sin embargo, estas diferencias disminuyen para inclusiones más rígidas (Fig. 12b). Según lo indicado por estos resultados, las inclusiones de MnS (E = 110 GPa) con factores de forma entre 2.5 y 10 no generarían variaciones tan grandes en el campo de esfuerzo de matriz (ver Fig. 12b). Sin embargo, la fractura al interior de las inclusiones puede presentar una gran influencia en la concentración de esfuerzos.

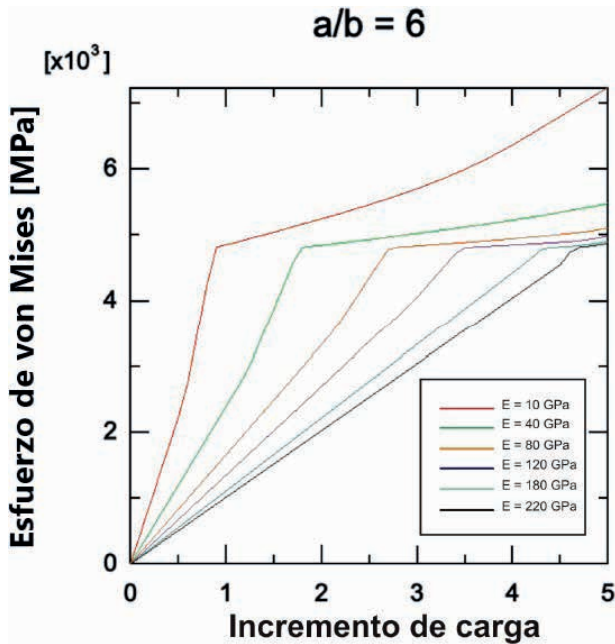



Figura 11. Esfuerzos de von Mises en la matriz de acero para varios módulos de elasticidad de una inclusión simplificada (a/b= 6)

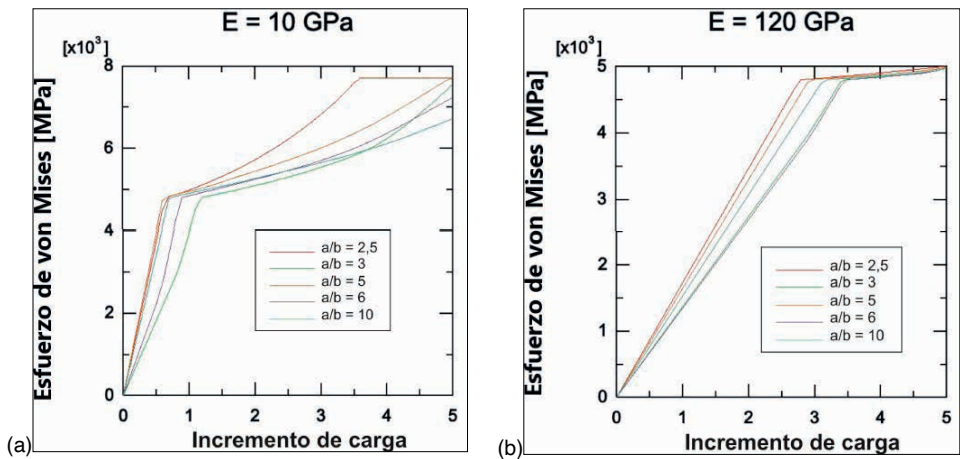



Figura 12. Esfuerzos de von Mises en la matriz de acero en función del factor de forma de una inclusión simplificada, para dos módulos de elasticidad de la inclusión: 10 GPa (a) y 120 GPa (b).

La Figura 13 muestra el campo de esfuerzos de von Mises alrededor de tres inclusiones de MnS con factores de forma (a/b) de 10, 5 y 2.5.

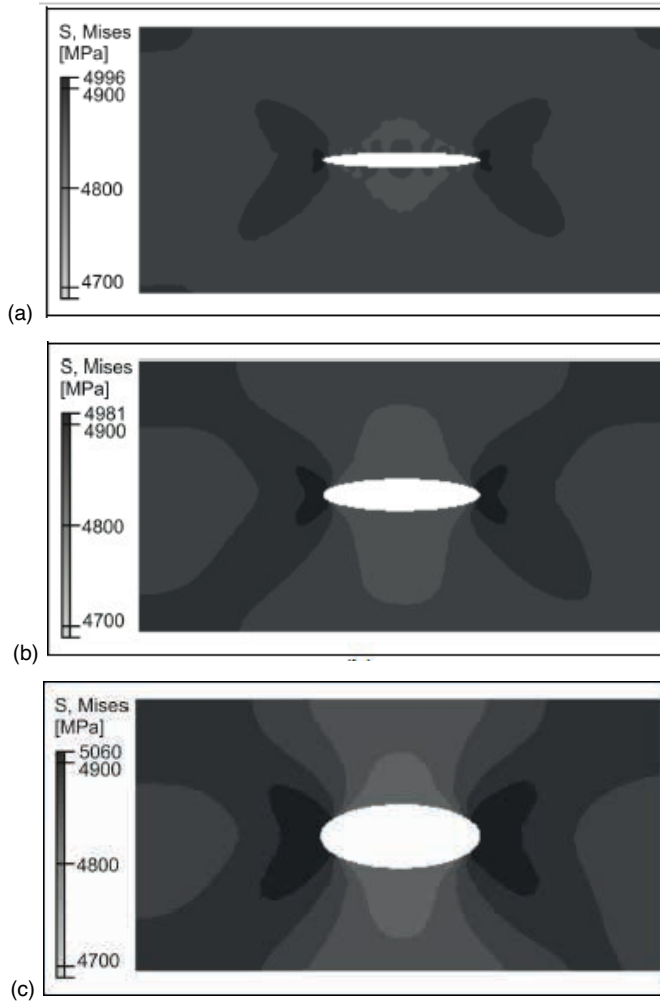



Figura 13. Distribución del esfuerzo de von Mises en la matriz de acero debido inclusión de MnS (E = 110 GPa). Resultados para factores de forma de: (a) 10, (b) 5 y (c) 2.5.

El campo de esfuerzos se encuentra más ampliamente distribuido en el caso de inclusiones con menor factor de forma (Fig. 13c), indicando que son estas inclusiones las más críticas para la concentración de esfuerzos en la matriz. Sin embargo, las diferencias entre los máximos valores numéricos para los tres casos no son muy grandes. En este caso, la diferencia en los resultados de factores de forma entre 10 y 2.5 fue de sólo 64 MPa y por lo tanto el factor de forma de la inclusión puede no ser tan crítico en el efecto de concentración de esfuerzo como el módulo de elasticidad de la inclusión. Por otra parte, los resultados de caracterización microestructural muestran que son estadísticamente más representativas del fenómeno las inclusiones alargadas, debido a los procesos de laminación del material.

Como mencionado por Antretter y Fischer [12] es en la dirección del esfuerzo principal máximo que ocurre la propagación de grietas al interior de las inclusiones (en materiales comúnmente de comportamiento frágil). Además, mencionaron que la distribución de este esfuerzo al interior de la inclusión es uniforme y radial para valores de factor de forma de hasta 2, siendo que para valores mayores de este parámetro la distribución pierde su uniformidad. La Figura 14 muestra la distribución del esfuerzo principal máximo en el interior de tres inclusiones de MnS con factores de forma de 10, 5 y 2.5.

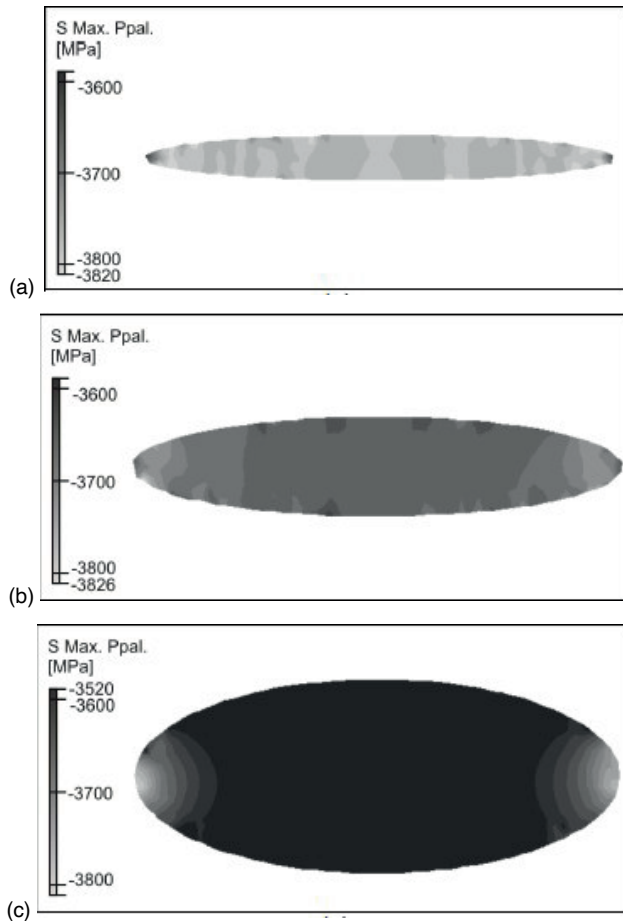



Figura 14. Distribución del esfuerzo principal máximo al interior de la inclusión de MnS (E = 110 GPa). Resultados para factores de forma de: (a) 10, (b) 5 y (c) 2.5.

Los resultados numéricos parecen confirmar que las inclusiones con factores de forma inferiores a 2 muestran una distribución uniforme del esfuerzo (Fig. 14c). También se observa que la distribución de esfuerzos cambia al aumentar el factor de forma de la inclusión y, en el caso de una inclusión de menor espesor, la concentración de esfuerzos

se ubica en bandas transversales dentro de la misma (Fig. 14a). La concentración de esfuerzos en bandas transversales a lo largo inclusiones alargadas puede generar fractura, tanto en la interface inclusión/matriz como al interior de la inclusión. La Figura 15 muestra la ocurrencia de agrietamiento en la interface de una inclusión observada en un ensayo de baja tasa de deformación a temperatura ambiente. Los resultados muestran una gran acumulación de deformación plástica en las regiones cercanas a la fractura de inclusión (indicadas en la figura), que contrariamente a lo planteado por Kiessling y Lange [8], indica que la deformación plástica de la inclusión no siempre acompaña a la de la matriz. Puede afirmarse que, además del mecanismo de fractura sugerido por Vignal [17], la propagación de grietas en la matriz puede iniciar en los lugares donde hay fractura de la inclusión.

El trabajo realizado por Kishi y Eda [18] indica que el mecanismo de deformación de las inclusiones de MnS en el proceso de corte implica su fractura, separación de la matriz y posterior participación en el proceso de deformación de la matriz en la dirección del corte. Esto parece confirmarse en el trabajo de Kiessling y Lange [8], quienes establecieron que para altas tasas de deformación (como en el mecanizado) las inclusiones pueden conducir a la formación de grietas en la matriz. Los resultados numéricos de esta sección indican que la fractura en el interior de la inclusión puede ser una fuente importante de concentración de esfuerzos según el mecanismo descrito previamente. Esta concentración de esfuerzos puede causar la fragilización de la viruta aumentando así la maquinabilidad del material.

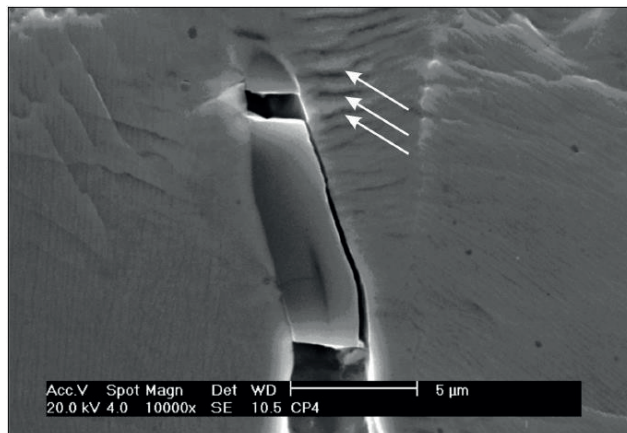



Figura 15. Agrietamiento al interior de una inclusión de MnS y en la interface inclusión/matriz durante un ensayo en baja tasa de deformación a temperatura ambiente obtenida por microscopía electrónica de barrido a 10000 X.

Caso 4: Interacciones entre inclusiones reales alargadas (a/b ≠ 1). La Figura 16 presenta los esfuerzos de von Mises en una microestructura real (inclusiones/matriz) del acero AISI 1145. Como puede observarse, inclusiones que se encuentran próximas generan interacciones entre sus campos de esfuerzo. Regiones de aglomeración de inclusiones (esquina superior izquierda y esquina inferior derecha), en las cuales las puntas de las

mismas se encuentren próximas, generará una mayor extensión del campo de esfuerzo y mayores valores del mismo. Puede también observarse que estas interacciones ocurren marcadamente cuando la distancia entre inclusiones dentro del aglomerado son menores que 10 μm. Es importante señalar que, como ha sido anotado anteriormente [12], estas distancias dependen tanto de la carga aplicada como de la naturaleza, factor de forma y distribución de las inclusiones en la matriz.

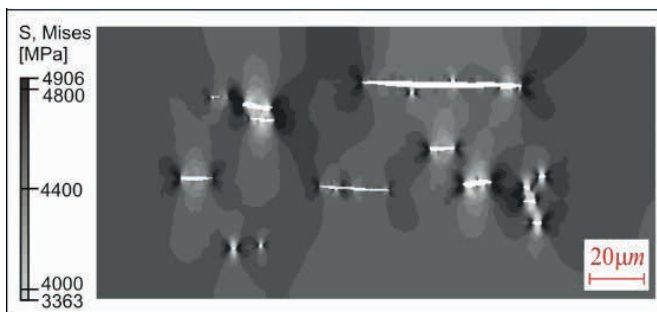



Figura 16. Esfuerzos de von Mises para una distribución real de inclusiones en el acero AISI 1145.

La influencia de las interacciones entre los campos de esfuerzos de inclusiones aglomeradas indica que la distribución de las inclusiones en la matriz está relacionada con la maquinabilidad del material y puede ser un factor preponderante. Para los aceros estudiados, aunque existen diferencias entre las distribuciones de inclusiones de MnS, estas diferencias son aleatorias y se pueden encontrar distribuciones similares en ambos aceros. Sin embargo, el acero 1145 tiene el doble de concentración de inclusiones (fracción volumétrica de 0.4%) que el acero 1045 (fracción volumétrica de 0.2%) y por esta razón existe una mayor probabilidad de interacción entre inclusiones en el maquinado del 1145, lo que se traduce como menores fuerzas de corte.

Caso 5: Interacciones entre campos de esfuerzo en microestructura ferrita/perlita y ferrita/perlita/inclusiones. Como se mencionó anteriormente, las propiedades de la fase ferrítica y de la perlita se obtuvieron en pruebas de tracción en condiciones cuasiestáticas [16] debido a las dificultades de caracterizar estas propiedades de manera dinámica. Por esta razón, las fuerzas utilizadas para este caso fueron menores que para los casos previamente analizados. Sin embargo, los resultados numéricos pueden extrapolarse cualitativamente para comprender el fenómeno de remoción de material por maquinado. Nygards y Gudmunson [16] indicaron que es la perlita la que experimenta mayores esfuerzos durante un proceso de deformación plástica, lo que se confirma en el presente estudio. La Figura 17 presenta el esfuerzo de von Mises para la perlita (Fig. 17a) y la ferrita (Fig. 17b) en la microestructura real del acero 1145. Los mayores valores de esfuerzo que presenta la perlita pueden ser explicados por su mayor rigidez en comparación con la ferrita. Además, el patrón de tensión en “X”, con ángulos cercanos a los 45°, se

observa principalmente en la fase ferrítica. Este patrón de esfuerzos en “X” también fue observado por los investigadores mencionados, quienes lo denominaron “bandas de corte”. Los resultados numéricos de deformación plástica equivalente indicaron que, como era esperado, el inicio de la deformación plástica ocurre en la fase de ferrita, en la dirección de las bandas de corte.

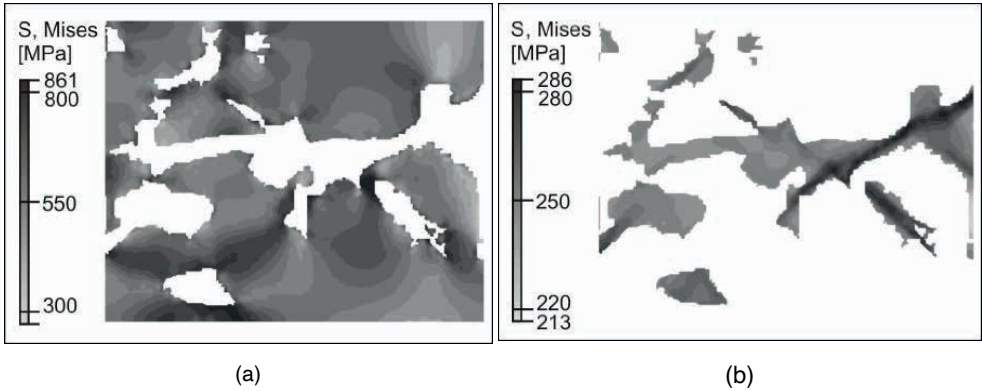



Figura 17. Esfuerzo de von Mises en una microestructura real (sin inclusiones) del acero AISI 1145 en: (a) perlita y (b) ferrita.

Las caracterizaciones microestructurales mostraron que la fase ferrítica es un lugar preferencial para la nucleación y crecimiento de las inclusiones de MnS. La Figura 18 presenta los resultados numéricos de esfuerzo de von mises (Fig. 18a) y deformación plástica equivalente (Fig. 18b) de una microestructura real de acero AISI 1145, con presencia de MnS, donde se observa la existencia del patrón de concentración de esfuerzo en “X” generado en las puntas de las inclusiones.

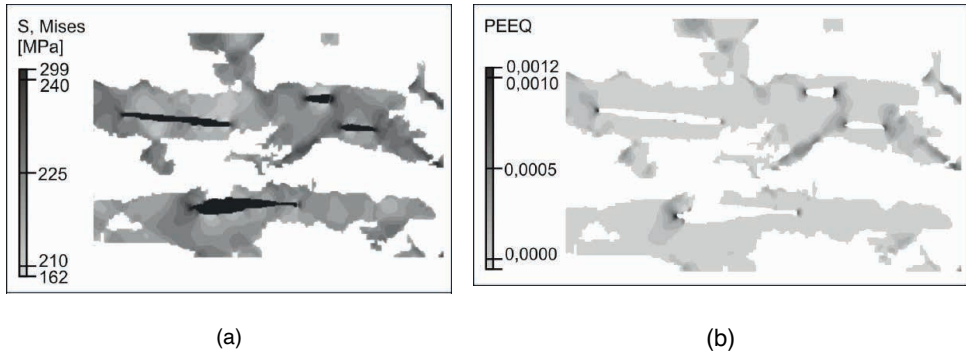



Figura 18. Resultados de la simulación numérica en la fase de ferrita de una microestructura real con inclusiones para el acero AISI 1145: (a) Esfuerzo de von Mises; (b) deformación plástica equivalente.

Las regiones de concentración de esfuerzos generada por las inclusiones de MnS en la fase ferrítica (Fig. 18a) funcionan como lugares preferenciales donde inicia la deformación plástica (Fig. 18b). De acuerdo con estos resultados, se espera que los principales responsables del efecto de fragilización de la viruta en la zona de corte sean los efectos surgidos de la concentración de esfuerzos al interior de la fase de MnS y las asociadas concentraciones de esfuerzo en la fase ferrítica. Este efecto se vería amplificado en el acero AISI 1145, el cual presenta mayor tendencia a la formación de aglomeraciones de inclusiones debido a su mayor contenido de azufre. Por lo tanto, el efecto de concentración de esfuerzos en la ferrita debido principalmente a aglomeraciones de inclusiones, y secundariamente a inclusiones no aglomeradas, disminuiría las fuerzas de corte requeridas en la zona de cizallamiento, facilitaría la formación de la viruta y aumentaría la maquinabilidad.

CONCLUSIONES

- Se desarrolló un modelo numérico simplificado, considerando que las condiciones de frontera y las cargas son adecuadas para el fenómeno analizado y eliminando los efectos de borde no deseados. Los resultados muestran que el modelo numérico presenta una buena correlación con los datos experimentales.
- Se confirmó que las inclusiones funcionan como concentradores de esfuerzos y que este efecto depende de propiedades como el módulo de elasticidad relativo matriz/inclusión y de factores relacionados con la inclusión como el tamaño, la forma y su distribución en la matriz.
- Los resultados obtenidos del análisis de esfuerzos para inclusiones con morfología simplificada se compararon con los resultados obtenidos con inclusiones de morfologías reales, evidenciando que la simplificación de la morfología de inclusión se puede realizar en estudios numéricos, sin diferencias significativas en los resultados.
- Se presentó un mecanismo de deformación que, a pesar de no tener en cuenta el esfuerzo cortante concentrado en el plano de cizallamiento, se puede utilizar para la comprensión de la deformación elastoplástica del material en esta región por la acción de las fuerzas involucradas.
- Se confirmó que las propiedades mecánicas de las inclusiones influyen en el comportamiento mecánico de la matriz del acero. Se encontró que el módulo de elasticidad tiene una influencia muy fuerte en los resultados y que las inclusiones no pueden ser consideradas en los modelos como espacios vacíos en la matriz metálica.
- Se confirmó que el factor de forma de las inclusiones influye en la magnitud y extensión de los campos de esfuerzo en la matriz de los aceros estudiados. Inclusiones con factores de forma cercanos a la unidad (*i.e.*, circulares) son los principales concentradores de esfuerzo. Este efecto es acentuado al aumentar

el tamaño de la inclusión y disminuye con la reducción de la diferencia entre los módulos de elasticidad de la inclusión y de la matriz del acero.

- Factores como la deformación plástica de la inclusión (o su agrietamiento) son importantes para analizar el efecto de las inclusiones en la zona de cizalla durante el proceso de corte por maquinado. Las inclusiones fracturadas pueden generar aún mayores concentraciones de esfuerzos en la matriz y este efecto puede ser decisivo en la rotura de la viruta durante el torneado.
- Existe una relación directa entre la maquinabilidad de un material y la distribución de sus inclusiones . Además, los campos de esfuerzo generados, en materiales con distribuciones más críticas, es decir, con mayor aglomeración de inclusiones que interactúan entre sí, presentan índices más altos de maquinabilidad.

REFERENCIAS

[1] S. Ramalingam, K. Basu, S. Malkin. Materials Science and Engineering, 29 (1977) 117-121

[2] E.M. Trent, P.K. Metal Cutting. Wright. Butt.-Heine. (2000).

[3] A. Gupta, S. Goyal, K.A. Padmanabhan, A.K. Singh. Int J Adv Manuf Technol 77 (2015) 565–572.

[4] G.Y. Zhao, Z.Y. Liu, Y. He, H.J. Cao, Y.B. Guo. Energy (2017), 1-49.

[5] D. Martinez Krahmer, G. Urbicain, A.J. Sánchez. Mat. Man. Proc. 35:4 (2020) 460-468.

[6] Taylor, F. 3 Ed. Trans. ASME (1906)

[7] ASM Handbook 9 Ed. ASM, v.1. (1991)

[8] R. Kiessling, N. Lange. Non-Metallic Inclusions in Steel. 2 Ed. The Metals Society (1978).

[9] L. Jiang, K. Cui, H. Hainninen. J. Mat. Proc. Tech. 58: 2-3 (1996) 160-165.

[10] H. Kolsky. Proc. Phys. Soc. B 62 (1949) 676-700.

[11] M.C. Shaw. Metal Cutting Principles. 2 Ed. Oxf. Un. Press. (2005).

[12] T. Antretter, F.D. Fischer. Comp. Mat. Sci. 7 (1996) 247-252.

[13] Hibbitt, Karlsson and Sorensen Inc. ABAQUS, Users manual (Ver. 6.5), v. 2 (2004).

[14] S.A. Langer, E.R. Fuller Jr., W.G. Carter. Comp. Sci. Eng. 3 (2001) 15-23.

[15] M. Cusolito, C. Mapelli, W. Nicodemi. Met. Sci. Tech. 20 (2002) 9-16.

[16] M. Nygards, P. Gudmundson, Mat. Sci. Eng. A325 (2002) 435-443.

[17] V. Vignal, R. Oltra, C. Josse. Scrip. Mat. 49 (2003) 779-784.

[18] K. Kishi, H. Eda. Wear 38 (1976) 29-42.

CAPÍTULO 14

USO DE AERONAVES NO TRIPULADAS (DRONES) PARA LA INSPECCIÓN DE MONUMENTOS ARQUITECTÓNICOS Y CONSTRUCCIONES ANTIGUAS

Data de submissão: 08/05/2023 *Data de aceite: 02/06/2023*

Rubén Rodríguez Elizalde
Universitat Oberta de Catalunya
Barcelona, España
https://orcid.org/0000-0003-3314-5129

RESUMEN. El uso de aeronoaves no tripuladas (RPAS), más conocidas como drones, se ha venido extendiendo a lo largo de los últimos años con aplicaciones múltiples y muy diversas, entre las cuales están las inspecciones de elementos de patrimonio arquitectónico, construcciones singulares y estructuras antiguas o delicadas. El presente artículo nace precisamente de varias inspecciones rutinarias, llevadas a cabo de forma experimental sobre elementos patrimoniales diversos, y de una inspección principal detallada, acometida sobre un puente medieval: el Puente de Brandomil. Con la realización de todas ellas y la información obtenida, se podrá valorar si la aeronave puede servir como herramienta de calidad para la realización de los trabajos que actualmente se llevan a cabo con personal cualificado, el transporte y la instalación de aparatosos medios auxiliares y una alta inversión económica y de tiempo, especialmente en la cuidadosa planificación de los trabajos. Del mismo modo, se incide de forma muy especial en la seguridad y en reducción de riesgos: seguridad y reducción de riesgos hacia el monumento a inspeccionar, y reducción de riesgos para la seguridad y la salud de los trabajadores que actualmente desempeñan tales labores.
KEYWORDS: Drones, Patrimonio, Puente Romano, Inspección, Conservación del Patrimonio.

USE OF REMOTELY PILOTED AIRCRAFT (DRONES) FOR THE INSPECTION OF ARCHITECTURAL HERITAGE AND ANCIENT STRUCTURES

ABSTRACT. The use of remotely piloted aircraft systems (RPAS), better known as drones, has spread with multiple and very diverse applications in recent years. It includes inspections of elements of the historical heritage, singular constructions and ancient or delicate structures. From various inspection heritage this article was born precisely: various several routine inspections and a significant monument detailed inspection (Brandomil Bridge), all of them with purely experimental purposes. With the completion of all of them and the

information obtained, it will be possible to assess whether the aircraft can serve as a quality tool for carrying out the work that is currently being carried out with qualified personnel, the transportation and installation of bulky auxiliary means and a high economic and time investment, especially in the careful planning of the works. There is a very special impact on safety and risk reduction also: safety and risk reduction towards the monument to be inspected, and reduction of risks for the safety and health of the workers who currently perform such tasks.

KEYWORDS: Drones, Heritage, Roman Bridge, Inspection, Heritage preservation.

1 I INTRODUCCIÓN

La inspección estructural es, desde el inicio, una operación esencial en el campo de la conservación de cualquier construcción, habiéndose aplicado particularmente, y desde un primer momento, al ámbito estructural. En esencia, se basa en el chequeo, en la caracterización y en la monitorización de la construcción en su conjunto, así como de cada uno de los distintos elementos que conforman la misma, pudiendo ir acompañada, según el tipo y alcance de inspección que se acometa, de ensayos que permitan complementar el diagnóstico realizado mediante la inspección visual.

Los distintos tipos de inspección fueron recogidos en las distintas guías desarrolladas por el Ministerio de Fomento de España para la realización de inspecciones de las obras de paso de la red de carreteras (VVAA, 2009; VVAA, 2012). Así, se distingue entre:

- Inspección rutinaria. Se trata de una inspección básica efectuada por personal no especializado, generalmente personal encargado del mantenimiento. La Guía (VVAA, 2009) señala que se realizan en todas las obras de paso iguales o superiores a 1,00 m de luz. Su objetivo es hacer un buen seguimiento del estado de las estructuras, para detectar lo antes posible fallos aparentes, que podrían originar importantes gastos de conservación o, si no son corregidos a tiempo, de reparación.
- Inspección principal. Se trata de una inspección más profunda que la rutinaria, pero que sigue siendo esencialmente visual. Debe de incluir un examen de todos los elementos de la obra de paso que sean visibles. Por ello, en muchos casos exigirá la utilización de medios auxiliares que hagan posible tal observación. La necesidad de emplear esos medios extraordinarios de acceso (Figura 1) subdivide las inspecciones principales en dos categorías (VVAA, 2012):
    - Inspección principal general, que consiste en una observación visual detallada de todos los elementos visibles que constituyen el puente sin necesidad de medios de acceso extraordinarios: basta con utilizar elementos auxiliares sencillos.
    - Inspección principal detallada, en la que es imprescindible el uso de medios de acceso extraordinarios que garanticen la posibilidad de inspección de todas las partes visibles.

- Inspección especial. Este tipo de inspección, a diferencia del resto, no se ha de realizar sistemáticamente; surge, por regla general, como consecuencia de los daños detectados en una inspección principal o, excepcionalmente, a consecuencia de una situación singular. En estas inspecciones, además de la realización de un examenvisual, se necesitan ensayos y mediciones complementarios, con técnicas y equipos especiales. Este nivel de reconocimiento requiere siempre de un plan previo a la inspección, detallando y valorando los aspectos a estudiar, así como las técnicas y medios a emplear.

Figura 1: Inspección del tablero de un viaducto que salva la Autovía de las Rías Bajas (A – 52), a la altura del municipio de A Gudiña, en la provincia de Ourense (fotografía del autor).

El anterior criterio de clasificación se ha hecho extensivo a más ámbitos que los de las estructuras de carreteras (Boletín Oficial del Estado, 2005; ADIF 2020 a; ADIF 2020 b), de ahí que se haya decidido exponer aquí como punto de partida.

Por otro lado, hace unos años surgió el concepto de aeronave carente de piloto a bordo o de vehículo aéreo no tripulado; se trata de aeronaves que pueden ser controladas por el piloto de forma remota o bien programarse y ser completamente autónomas. La incorporación de ciertos accesorios a estos equipos, como pueden ser las cámaras de grabación o de captación de imágenes de alta resolución, y el desarrollo de una microtecnología cada vez más precisa y asequible (Cuerno Rejado, 2015), abrieron la

puerta hace ya tiempo a la posibilidad de incorporar los drones para la realización de este tipo de inspecciones.

Durante los últimos años, en el campo de la ingeniería civil se han realizado multitud de avances y llevado a cabo una notable cantidad de inspecciones enmarcadas en la clasificación anterior, empleando drones (Rodríguez Elizalde, 2022 a; Rodríguez Elizalde, 2022 b); los resultados han sido muy satisfactorios, pues en muchos casos se ha logrado un trabajo más económico, rápido y seguro (Rodríguez Elizalde, 2022 a; Rodríguez Elizalde, 2022 c), de ahí que se plantee la posible aplicación de esta herramienta al ámbito la inspección del patrimonio (Figura 2).

Figura 2: Drone cuadricóptero aproximándose para una inspección sobre el Ponte da Chanca, viaducto ferroviario ubicado en la ciudad de Lugo que el 20 de diciembre de 2021 cumplió 150 años (fotografía del autor).

2 | OBJETIVOS

Partiendo de la base de que la inspección de cualquier construcción resulta esencial, al permitir obtener los datos necesarios para conocer, en cada momento, su estado funcional, resistente y estético, el presente artículo tiene como objetivo principal comprobar la aplicabilidad de los drones para la realización de estas inspecciones en el ámbito patrimonial. La experiencia del autor y el análisis de una inspección principal detallada,

llevada a cabo por el mismo sobre un monumento de ingeniería de gran relevancia y significación, el Puente de Brandomil, servirá de base para verificar el cumplimiento del objetivo aquí establecido.

3 I MATERIAL Y MÉTODOS

Ha habido ya incursiones y estudios en diversos ámbitos de aplicación del uso de drones al campo de la conservación de patrimonio, destacando especialmente el uso de estos equipos para la realización de vuelos fotogramétricos que permitan realizar posteriores modelados y reconstrucciones (Domínguez Torrado, 2015; Rodríguez Elizalde, 2022 c).

Muchos y muy diversos son los tipos de drones de que se dispone en la actualidad (Hernández Correas et al., 2019), por lo que es importante conocer en cada caso el tipo de aeronave más adecuada para cada situación, y particularmente a la actuación que aquí se analiza. De entre todos los criterios de clasificación, el más interesante al efecto es el que atiende a la forma de sustentación del equipo en el aire. De esta manera, se distingue entre drones de ala fija y drones de ala rotatoria (Oñate de Mora, 2015). Es indudable que el drone de ala fija tiene grandes ventajas que le hacen idóneo para multitud de aplicaciones, pero su incapacidad para realizar un despegue vertical y mantener una posición estable en el aire no le hace apto para la inspección de una construcción antigua, a menos que se pretenda realizar una toma de imágenes de superficies extensas, lo que es muy poco frecuente.

Por ello, el tipo de drone utilizado para los trabajos aquí contemplados suele ser un drone de ala rotatoria, y más concretamente un multirotor (Figura 2): son drones de múltiples hélices (siempre pares) que realizan el despegue en vertical y que tienen, además, la capacidad de girar sobre sí mismos, lo que les hace idóneos para realizar trabajos verticales y mantener una posición determinada fija en suspensión en el aire, para así permitir la realización de un análisis preciso.

Para comprobar la validez del drone para la realización de este tipo de inspecciones, se eligió como muestra el Puente de Brandomil, situado en las coordenadas siguientes:

- 43º 00’ 29.0” N.
- 8º 55’ 17.9” W.

El Puente se encuentra en Galicia, en el municipio de Zas, en la provincia de A Coruña. Salva el cauce del Río Xallas. Este puente es especialmente representativo pues, aunque no soporta actualmente tráfico rodado, formaba parte del tramo final del antiguo camino de Santiago, el que comunica Santiago y Fisterra (Casado, 1969). Sí cumplió la misión de soportar íntegramente el paso de carruajes por la vía suprayacente hasta hace ochenta años: en los años cuarenta del pasado siglo XX, se construyó un puente de hormigón para relevarlo a escasos metros aguas arriba (Roseman, 1996). A través de

Brandomil, y concretamente sobre este Puente, transitaban los peregrinos que habían desembarcado en los puertos de Muxía y de Fisterra, rumbo a Santiago de Compostela (Suárez, 2022). El ancho de la calzada suprayacente del Puente es de 2,75 metros.

El Puente posee cuatro arcos de sillería (Figura 3): tres de ellos de la misma luz (8,20 metros), y el último, en el extremo sur del puente, con una luz considerablemente menor (4,30 metros). Las pilas, con tamajares que suben hasta la coronación (Figura 5), tienen gran espesor, alrededor de los 3,00 metros. Las dos bóvedas de la margen derecha (Figura 3 y Figura 4) tienen doble rosca. Tanto las bóvedas como los tímpanos y los pretiles son de sillería (Alcaide & López, 2013). Por sus características, tanto constructivas como estéticas, se data la fecha de su construcción en el siglo XVII, aunque se tiene constancia de la existencia de un puente anterior en este mismo lugar (Casado, 1969).

Figura 3: Vista general del alzado aguas abajo del Puente de Brandomil, en imagen captada con el drone multi rotor empleado en la inspección de este artículo (fotografía del autor).

La existencia de una corriente fluvial bajo el Puente, como es el Río Zas, las dimensiones geométricas del mismo y la inaccesibilidad a determinadas zonas (las dos pilas centrales penetran en el agua del Río), hacían del Puente de Brandomil una estructura perfecta para poder constatar la validez del uso de un drone para la inspección de esta construcción patrimonial. Aparte quedaría la toma en consideración de la belleza, la relevancia y el valor histórico y patrimonial del Puente, que indudablemente confieren un valor añadido a la inspección realizada: su gran interés a nivel histórico y arqueológico, y también a nivel ingenieril y patológico reafirmaban esta idea.

Figura 4: Vista general de uno de los arcos mayores del Puente de Brandomil, en imagen captada con el drone multi rotor empleado en la inspección desde el lado aguas abajo del Puente (fotografía del autor).

Figura 5: Vista general de la parte superior de uno de los tajamares del Puente de Brandomil, en imagen captada con el drone multi rotor empleado en la inspección (fotografía del autor).

Figura 6: Drone multi rotor empleado en la inspección del Puente de Brandomil, adentrándose en el interior de la bóveda del arco menor para su inspección desde el lado aguas arriba del Puente (fotografía del autor).

Figura 7: Drone multi rotor empleado en la inspección del Puente de Brandomil, aproximándose al alzado aguas arriba del Puente, para la inspección de diversos elementos constitutivos (fotografía del autor).

Según lo comentado en apartados anteriores, para la inspección llevada a cabo en el Puente de Brandomil se empleó un drone cuadricóptero (Figura 6 y Figura 7), que pudo aproximarse a todas las zonas visibles del Puente, fueran éstas accesibles o no accesibles,

En las imágenes anteriores se puede observar el drone de cuatro hélices empleado, analizando en suspensión el interior de la bóveda más pequeña del Puente (Figura 6) y aproximándose sobre el curso del río a una de las bóvedas mayores para su reconocimiento (Figura 7). El equipo incorporaba una cámara de alta resolución con zoom y permitió la captación de las imágenes que se recogen más adelante, que podrían constituir un reportaje fotográfico completo con las observaciones más sobresalientes durante el vuelo.

Además, hay que tener en cuenta que una de las señas de identidad de este puente es el empleo del arco menor de medio punto como directriz para sus bóvedas, frente a la utilización romana común del arco. Dada la escasa flecha de la bóveda más pequeña, el acceso a su interior para el análisis del estado del intradós resultaba algo complicado (Figura 6), de ahí el interés de introducir un drone. Es cierto que hay puntos de galerías en los que el acceso puede resultar mucho más complicado que en éste, pues aquí la anchura de la bóveda es de 4,20 m y en caso de necesidad podría acceder un operario para realizar la inspección pertinente; pero esta experiencia sirve para demostrar que el drone puede desempeñar perfectamente esta función, sin tener que poner en riesgo la seguridad de ningún profesional y obteniendo resultados perfectamente válidos e incluso mejores que los que podría obtener un operario.

4 I RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En términos generales, el Puente presentaba un estado adecuado de conservación. La inspección permitió verificar la existencia de eflorescencias, aunque en una proporción muy leve: tales lesiones se observaron en el intradós de alguna de las bóvedas y en el alzado de alguna pila o de algún estribo. Las eflorescencias se suelen concentrar alrededor de zonas en las que se produce una elevada concentración de humedad. Al tratarse de un puente fluvial sito además en la región gallega, es evidente que se está en un emplazamiento donde la humedad es elevada.

El intradós de las bóvedas es, sin lugar a dudas, el punto más crítico desde el punto de vista patológico y también el más difícilmente accesible para su inspección por medios manuales. Como se puede observar (Figura 8), todos elementos que conforman las bóvedas son de granito, con sillares y dovelas puestos en seco, siendo el redondeamiento de los vértices, característico de la alteración del granito (García de Miguel, 2009), uno de los aspectos más destacables.

Figura 8: Vista general del alzado aguas abajo del Puente de Brandomil, en imagen captada con el drone multi rotor empleado en la inspección de este artículo (fotografía del autor).

El granito constitutivo del monumento presenta, en el interior de las bóvedas, ciertos deterioros como consecuencia de la sinergia de acciones de naturaleza diversa, fundamentalmente química y biológica. Así, se puede observar la conformación de diversas costras negras, (Figura 8), presuntamente ligadas a la acción de agentes contaminantes (particularmente compuestos de azufre). Junto a estas costras, se observa una abundante presencia de biocolonias (plantas), que han crecido enraizando en las juntas que se disponen entre los sillares, especialmente en las juntas de puntos angulares (Figura 9 y Figura 10), que entran en retroalimentación con los fenómenos de humedad, eflorescencias y agua de escorrentía, tal y como reflejan ciertas manchas observadas.

También vinculada con la humedad está la proliferación de pequeñas costras de carbonatación, detectada en el interior de las bóvedas: en este caso, se trata de costras debidas, fundamentalmente, a la disolución de carbonato cálcico procedente del mortero dispuesto entre las juntas de los sillares. Las marcas oscuras de agua de escorrentía, observadas en algunos puntos del puente están ligadas con este proceso de desarrollo de costras negras.

En este sentido, no conviene olvidar que las costras y, en mucha mayor medida, las eflorescencias son manifestaciones resultantes de la cristalización de sales, que se suelen

aglutinar alrededor de puntos donde se produce una elevada concentración de humedad; esta anomalía se desencadena al cristalizar las sales solubles presentes en disolución en el sistema poroso de la fábrica (García de Miguel, 2009).

En principio, los daños anteriormente recogidos no son daños de índole estructural, sino daños relacionados con la durabilidad de los materiales en la construcción. Cuando se habla de daños que guardan relación con la durabilidad del material que conforma un elemento, se está haciendo referencia a las lesiones que surgen de la interacción del material deteriorado con las condiciones ambientales impuestas por el entorno en el que se encuentra instalado el elemento. Dicho de otra manera, la durabilidad de un material puede entenderse como la capacidad que éste tiene para resistir a la acción del ambiente, que incluye todos los ataques químicos, físicos, biológicos, o cualquier otro proceso ambiental que tienda a deteriorarlo.

Dicho de otra forma, no son lesiones que afectan a la integridad del monumento a corto plazo, pero que sí pueden derivar en daños más graves, como la alveolización o incluso la arenización del material pétreo, si siguen desarrollándose. La detección particular de eflorescencias, por una parte, pone de manifiesto que se está produciendo un proceso de degradación química, si bien de escasa peligrosidad; y, por otra parte, lanza una advertencia de que se pueden estar generando tensiones mecánicas internas de cierta consideración, a causa de los procesos de cristalización de las sales.

Figura 9: Vista general del arco más pequeño del Puente de Brandomil, visto desde el lado aguas arriba, en imagen captada con el drone multi rotor empleado en la inspección, donde se puede observar la abundante presencia de vegetación enraizada en los múltiples elementos (fotografía del autor).

Figura 10: Vista general de unos de los arcos mayores del Puente de Brandomil, visto desde el lado aguas arriba, en imagen captada con el drone multi rotor empleado en la inspección, donde se puede observar la abundante presencia de vegetación enraizada en los múltiples elementos (fotografía del autor).

Se cierra este apartado, reincidiendo en la presencia de vegetación enraizada en las juntas entre los sillares (Figura 9 y Figura 10). A causa de la humedad, y ante la susceptibilidad del granito al ataque de naturaleza biológica, el drone también pudo registrar películas o moteados, resultantes de la acumulación de microorganismos vegetales, tipo musgo o similar (Figura 9 y Figura 10).

Con todo, y aunque ninguno de los daños compromete la seguridad del monumento, el drone permitió la localización y diagnóstico de tales lesiones, habida cuenta de que muchas de ellas no eran visibles desde la posición de un viandante. Además, la inspección con la aeronave no tripulada permitió disponer de documentos gráficos que, en posteriores inspecciones, permitirán valorar la evolución de los daños y así estimar la pertinencia de una posible intervención restauradora.

5 I CONCLUSIONES

Los resultados de la inspección realizadas ponen de manifiesto que el empleo de un drone adecuado permite realizar perfectamente una observación visual detallada y

completa de todos los elementos visibles, accesibles y no accesibles, que conforman un monumento de cierta entidad. Con esta herramienta, no se precisa recurrir a medios de acceso extraordinarios, como sí hubieran sido precisos en caso de no disponer de la aeronave multirrotora.

Por tanto, a la luz de la experiencia aquí recogida, se puede concluir lo siguiente:

1. El drone simplifica los trabajos de planificación, ya que reduce la planificación y adquisición de medios auxiliares de acceso.

2. El drone simplifica los trabajos de campo, de cara a la identificación y valoración de deterioros de cada uno de los elementos constitutivos del monumento.

3. Las simplificaciones anteriores permiten realizar los trabajos con más rapidez.

4. El drone reduce una parte considerable de los riesgos de afección al monumento. El Puente de Brandomil conserva su forma primitiva que, como toda construcción, necesita un cuidado para su adecuada conservación. El drone se ha mostrado una herramienta muy eficaz al respecto, no llegando a entrar en contacto con el monumento en ningún momento.

5. El drone reduce toda clase de riesgos para la seguridad de los trabajadores que deberían colaborar en las inspecciones, dado el peligro inherente al empleo de ciertos medios auxiliares para acceder a determinados elementos de la estructura: con un drone, ningún trabajador tiene que, por ejemplo, exponerse al riesgo de caída en altura.

6. Los cinco puntos anteriores justifican un considerable ahorro económico, que no supone una disminución de la calidad del trabajo.

Con los datos recogidos con el drone, como se ha ejemplificado aquí, se puede generar en gabinete un completo informe técnico de la inspección realizada, además de suministrar la información pertinente de cara a su incorporación a un sistema de gestión y a la obtención de los índices de estado, de cada uno de los elementos y de la construcción en su conjunto, para valorar si es precisa algún tipo de actuación urgente o verificar, a través de una comprobación regular de las lesiones detectadas mediante vuelos periódicos, la evolución de dichas lesiones.

Ni qué decir tiene que la experiencia de la inspección experimental realizada para la elaboración de este artículo es extrapolable a otros tantos trabajos de idéntica naturaleza, lo que abre un abanico infinito de oportunidades para estos pequeños ingenios que, sin duda, han venido para quedarse y para cambiar la forma de inspeccionar elementos singulares.

6 I FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Este artículo se ha centrado de forma exclusiva en la utilización de drones en el ámbito de la inspección de elementos patrimoniales. Las imágenes, e incluso los vídeos,

que son capturados con las cámaras incorporadas a un drone pueden ser utilizados como documentos visuales para otros múltiples objetivos que van más allá de la inspección aquí analizada.

La incorporación de otros sensores, de carácter visual o de carácter térmico, pueden servir para localizar lesiones invisibles o comprender mejor el origen de las lesiones visibles a las que inicialmente no se les encuentra explicación. En este caso, ya se entraría en el ámbito de la inspección especial, de acuerdo con lo visto en la Introducción, empleándose ensayos indirectos que no causarían ningún deterioro al monumento objeto de análisis (Figura 36).

El drone también puede ser de gran ayuda en la reconstrucción geométrica de un elemento a partir de las fotografías obtenidas en capturas realizadas en vuelos fotogramétricos. Para ello, se precisa un amplio conocimiento en materia de captación de datos que escapa al alcance y objetivo de este artículo, pues es precisa la obtención de datos medibles (sean éstos bidimensionales o tridimensionales) y el posterior procesado de los datos recopilados de cara al modelado y reconstrucción.

REFERENCIAS

ADIF (2020). Inspección Básica de Puentes de Ferrocarril (NAP 2-4-0.0_1E). Enero de 2020. Disponible online en: http://descargas.adif.es/ade/u18/GCN/NormativaTecnica.nsf/v0/91DB4D69076B81C6C12584 FF0032E3BC?OpenDocument&tDoc=F (último acceso el 7 de mayo de 2023).

ADIF (2020). Inspección Principal de Puentes de Ferrocarril (NAP 2-4-1.0). Julio de 2020. Disponible online en: http://descargas.adif.es/ade/u18/GCN/NormativaTecnica.nsf/v0/D2ED6B6DB14AA4D1C12585AE0054660F?OpenDocument&tDoc=F (último acceso el 7 de mayo de 2023).

Alcaide, R. C., & López, M. E. C. (2013). Aportaciones gallegas para la historia del corte de la piedra en España: Los cuadernos de Juan de Portor y Francisco Sarela. In Actas del Octavo Congreso Nacional de Historia de la Construcción: Madrid, 9-12 de octubre de 2013 (pp. 161- 170). Instituto Juan de Herrera.

Boletín Oficial del Estado (2005). Orden FOM/1951/2005, de 10 de junio, por la que se aprueba la instrucción sobre las inspecciones técnicas en los puentes de ferrocarril (ITPF-05). Disponible online en: https://www.boe.es/boe/dias/2005/06/24/pdfs/A22192-22199.pdf (último acceso el 7 de mayo de 2023).

Casado, F. U. (1969). Puentes y caminos en la Provincia de La Coruña. Revista Instituto José Cornide de Estudios Coruñeses, (5), 199-246.

Cuerno Rejado, C. (2015). Origen y Desarrollo de los Sistemas de Aeronaves Pilotadas por Control Remoto. Los Drones y sus aplicaciones a la Ingeniería Civil. Dirección General de Industria y Energía de la Comunidad de Madrid (Eds). Pp 15 – 32. Disponible online en: https://www.fenercom.com/wp-content/uploads/2015/03/Los-Drones-y-sus-Aplicaciones-a-la- Ingenieria-Civil-fenercom-2015.pdf (último acceso el 7 de mayo de 2023).

Domínguez Torrado, J.A. (2015). Aplicaciones en la gestión del patrimonio y herencia cultural. Proceeding of Los Drones y sus aplicaciones a la Ingeniería Civil. Dirección General de Industria y Energía de la Comunidad de Madrid (Eds). Pp 159 – 170. Disponible online en: https://www.fenercom.com/wp-content/uploads/2015/03/Los-Drones-y-sus-Aplicaciones-a-la- Ingenieria-Civil-fenercom-2015.pdf (último acceso el 7 de mayo de 2023).

García de Miguel, J.M. (2009). Tratamiento y conservación de la piedra, el ladrillo y los morteros en monumentos y construcciones. Madrid, España: Consejo General de la Arquitectura Técnica de España; 684 p.

Hernández Correas Á., Virués Ortega D., Bernardo Sanz S., Ramos Campo D., Vergara Merino R., García - Cabañas Bueno J.A. (2019). Piloto de Dron (RPAS) (3ª ed.). Madrid, España: Ediciones Paraninfo; 399 p.

Oñate de Mora, M. (2015). Tipología de Aeronaves Pilotadas por Control Remoto. Proceeding of Los Drones y sus aplicaciones a la Ingeniería Civil. Dirección General de Industria y Energía de la Comunidad de Madrid (Eds). Pp 49 – 58. Disponible online en: https://www.fenercom.com/wp-content/uploads/2015/03/Los-Drones-y-sus-Aplicaciones-a-la- Ingenieria-Civil-fenercom-2015.pdf (último acceso el 7 de mayo de 2023).

Rodríguez Elizalde, R. (2022). Structural Inspection by RPAS (Drones): Quality Work with Preventive Guarantee. Journal of Engineering and Applied Sciences Technology, 4 (2).

Rodríguez Elizalde, R (2022). Use of Rpas (Drones) for Old Bridges Inspection: Application on Ponte Olveira Bridge. International Journal of Innovation Scientific Research and Review, Vol. 04, Issue, 10, pp. 3487-3493, October 2022. Disponible online en: http://www.journalijisr.com/sites/default/files/issues-pdf/IJISRR-1035.pdf (último acceso el 7 de mayo de 2023).

Rodríguez Elizalde, R. (2022). Utilisation de Systèmes d'Aéronefs Télépilotés pour l'Inspection d'Anciennes Constructions. Current Opinion, 2 (6), pp 213-227. Disponible online en: http://currentopinion.be/index.php/co/article/view/121 (último acceso el 7 de mayo de 2023).

Roseman, S. R. (1996). "How we built the road": the politics of memory in rural Galicia. American Ethnologist, 23(4), 836-860.

Suárez, X. M. L. (2022). Topónimos con historia do camiño de Santiago a Muxía. In Os camiños de Santiago de Europa a Galicia: lugares, nomes e patrimonio (pp. 175-212). Real Academia Galega.

VVAA (2009). Guía de inspecciones de obras de paso. Madrid, España: Secretaría General Técnica, Ministerio de Fomento, 124 p. Disponible online en: https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/0870300.pdf (último acceso el 7 de mayo de 2023).

VVAA (2012). Guía para la realización de inspecciones principales de obras de paso en la Red de Carreteras del Estado. Madrid, España: Secretaría General Técnica, Ministerio de Fomento, 355 p. Disponible en: https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/0870250.pdf (último acceso el 7 de mayo de 2023).

USO DE CAL VIRGEM NO TRATAMENTO DE ÁGUA POTÁVEL

Data de aceite: 02/06/2023

Milena Ripoll
Cementos del Plata S.A.

Eduardo Mena
Cementos del Plata S.A.

Flavia Piñeiro
Cementos del Plata S.A.

RESUMO: 99% da população tem acesso a água potável durante todo o ano através das diferentes estações de tratamento de água que a OSE possui, onde a água bruta obtida maioritariamente de fontes superficiais é convertida em água potável através de **tratamento convencional.** Consiste em duas grandes etapas, clarificação cujo objetivo é a eliminação de partículas que contribuem com a Turvação da água e desinfecção para eliminar microorganismos patogênicos. A clarificação é composta por diferentes processos unitários, sendo a **coagulação** uma etapa crucial do processo. Para obter uma coagulação correta, a água bruta deve atingir valores adequados de **alcalinidade** e pH, razão pela qual geralmente deve ser pré-condicionada por meio de um tratamento químico. Atualmente, a OSE utiliza o carbonato de sódio como alcalinizante na maioria de suas fábricas, que é exportado. O objetivo deste projeto é determinar o uso de **cal virgem** produzida e comercializada em nosso país pela Cementos del Plata S.A., como alternativa ao alcalinizante convencional. Para isso, foram realizados diferentes testes, avaliando os parâmetros de alcalinidade e pH, simulando o processo de clarificação e comparando-os com o alcalinizador convencional. Com base nos resultados obtidos, conclui-se que a cal viva é uma alternativa promissora, pois consegue um aumento maior nesses parâmetros em comparação com o agente alcalinizante convencional. Além disso, indica uma vantagem competitiva, pois pode não exigir ajustes de pH em etapas anteriores à desinfecção, onde o pH desempenha um papel fundamental.

INTRODUÇÃO

O processo de purificação da água é um processo controlado através do qual a água bruta ou bruta é transformada em água potável. No Uruguai, a definição de água potável e suas características estão estabelecidas no Regulamento

Bromatológico Nacional. Define-a como água própria para consumo humano, que não apresente risco à saúde durante toda a vida do consumidor ou que gere rejeição por parte do consumidor (2).

Atualmente, 99% da população do país tem acesso à água potável durante todo o ano, por meio de 77 estações de tratamento de água que a Obras Sanitárias del Estado (OSE) possui, sendo a mais importante a Estação de Tratamento de Águas Corrientes, já que abastece a área metropolitana. Anualmente, são produzidos 361 milhões de m^3 de água potável (1).

A água para abastecimento das estações de tratamento de água pode vir de fontes superficiais ou subterrâneas. Na OSE, 90% da água produzida provém de fontes superficiais, enquanto os restantes 10% provêm de fontes subterrâneas. Quando a fonte utilizada é água superficial, utiliza-se um tratamento denominado convencional para sua purificação. Este tratamento físico-químico consiste basicamente em duas etapas, a primeira de clarificação na qual são eliminadas as partículas que tornam a água menos límpida e por último a desinfecção que tem como objetivo inativar os microorganismos patogênicos presentes. Os processos unitários que se desenvolvem no tratamento convencional são: pré-tratamento, coagulação, floculação, sedimentação, filtração e desinfecção (2).

O pré-tratamento pode incluir condicionamento físico e químico. No condicionamento físico, o material sedimentável é removido, especialmente útil quando a água bruta contém um excesso de areia que pode afetar as etapas seguintes do tratamento. Por outro lado, o condicionamento químico pode consistir em várias etapas: pré-oxidação, adsorção e pré-alcalinização. O principal objetivo da primeira etapa é a oxidação da matéria orgânica e a remoção de odor e sabor. Na etapa de adsorção, são retiradas substâncias dissolvidas na água bruta, como vestígios de matéria orgânica, toxinas e metabólitos que geram odor e sabor. A etapa de pré-alcalinização é necessária quando a alcalinidade presente na água bruta não é suficiente para uma correta coagulação. Para isso, é necessário condicionar a água bruta, alcançando uma alcalinidade adequada que é fornecida pela dosagem de carbonato de sódio (carbonato de sódio, Na_2CO_3), soda cáustica (hidróxido de sódio NaOH) ou cal hidratada ($Ca(OH)_2$). Atualmente, a OSE utiliza principalmente carbonato de sódio em suas estações de tratamento de água. Outro parâmetro de grande relevância para a etapa de coagulação é o pH. O valor de pH no qual a máxima eficiência de coagulação é obtida é chamado de pH ótimo e pode ser determinado por testes de jarros. Nesta etapa, o sulfato de alumínio reage com a alcalinidade, produzindo uma diminuição da alcalinidade, acompanhada também de uma diminuição do pH. A **coagulação** consiste na neutralização dessas partículas que compõem a Turvação por meio de um produto denominado coagulante (OSE utiliza sulfato de alumínio). Dessa forma, não há impedimentos e as partículas se juntam, dando origem a partículas maiores e mais pesadas chamadas flocos. Esse processo é chamado de **floculação**, e deve ser feito em condições controladas, pois uma agitação muito violenta pode provocar a ruptura dos flocos já formados, enquanto

uma agitação muito lenta pode dar origem à formação de flocos “esponjosos” e fracos, difíceis de sedimento. A **sedimentação** ou decantação é o primeiro estágio efetivo de separação das partículas de água. É nesta fase que se consegue uma redução da Turvação e da cor em relação à água bruta. A **filtração** é a etapa final do processo de clarificação da água e na qual devem ser cumpridos os parâmetros de qualidade em termos de Turvação e cor. Consiste na passagem da água por um meio poroso. A finalidade é reter aquelas partículas de menor densidade (pequenos flocos) e aquelas que por algum motivo não foram eliminadas no decantador. Além do indicado, a filtração é considerada uma das principais barreiras para a retenção de microrganismos patogênicos. Finalmente, nesta etapa, também pode ser necessário adicionar um agente alcalinizante se a queda do pH, como resultado da etapa de coagulação, for menor do que o estabelecido nas especificações de qualidade. O produto final desta etapa é chamado de *água filtrada*. A **desinfecção** é a última etapa do processo de purificação da água e consiste na adição de um agente químico para eliminar microrganismos patogênicos que podem transmitir doenças. É imprescindível que os parâmetros de Turvação e cor sejam atendidos, pois caso contrário dificulta a ação dos desinfetantes (2 e 3).

Ao longo de todo o processo de purificação da água, a OSE realiza controles operacionais de acordo com a Norma Interna de Qualidade da Água Potável da OSE, monitorando a eficácia das medidas de controle estabelecidas. A regulamentação estabelece que a água liberada para consumo deve ter Turvação máxima de 1 NTU, sendo que é recomendável que seja inferior a 0,5 NTU ao sair da usina para que o processo de desinfecção seja realizado de forma eficaz. Já o pH deve estar entre 6,5 e 8,5 (3).

O objetivo deste projeto é avaliar o uso da cal virgem produzida em Cementos del Plata S.A como alcalinizante para o tratamento de água potável.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Uma série de testes foram realizados na Estação de Tratamento de Água da cidade de Treinta y Tres. Primeiramente, o processo de pré-alcalinização da água bruta foi simulado e os parâmetros de Turvação, alcalinidade e pH foram avaliados, utilizando diferentes concentrações de cal virgem e carbonato de sódio. Os resultados obtidos são mostrados na Tabela I.

	Turvação (NTU)	**Alcalinidade** (p.p.m $CaCO_3$)	**pH**
Água bruta	20,1	58	7,4
Água bruta + 10 p.p.m. carbonato de sódio	19,5	75	7,7
Água bruta + 20 p.p.m. carbonato de sódio	20,0	88	8,7
Água bruta + 10 p.p.m. cal virgem	19,9	78	8,9
Água bruta + 20 p.p.m. cal virgem	21,6	95	9,4

Tabela I: Resultados de Turvação, alcalinidade e pH usando água bruta e carbonato de sódio ou cal virgem.

Como mencionado anteriormente, na etapa de pré-alcalinização, são necessários valores de alcalinidade adequados para obter uma coagulação correta após a adição de sulfato de alumínio. Como podemos ver na Tabela I, a mesma concentração de cal virgem como carbonato de sódio atinge um aumento maior nos parâmetros de alcalinidade e pH. Esse resultado indica que nosso produto pode ser utilizado na etapa de pré-tratamento e também apresenta forte vantagem competitiva em relação ao alcalinizante mais utilizado em estações de tratamento de água.

Em segundo lugar, os parâmetros de pH e Turvação na água filtrada após a adição de cal virgem foram avaliados e comparados com o corretor de pH convencional (carbonato de sódio). Os resultados obtidos são apresentados na Tabela II.

	Turvação (NTU)	**Alcalinidade** (p.p.m $CaCO_3$)	**pH**
Água filtrada	0,49	45	6,8
Água filtrada + 10 p.p.m. carbonato de sódio	0,47	55	7,1
Água filtrada + 20 p.p.m. carbonato de sódio	0,37	65	7,2
Água filtrada + 10 p.p.m. cal virgem	1	50	7,7
Água filtrada + 20 p.p.m. cal virgem	2,32	75	9,5

Tabela II: Resultados obtidos dos parâmetros de Turvação, alcalinidade e pH do jar test usando água filtrada e carbonato de sódio ou cal virgem como corretor de pH.

Como podemos ver, a mesma concentração de cal virgem como carbonato de sódio atinge um aumento maior no parâmetro de pH. No entanto, causa um aumento significativo na Turvação. Nesta etapa do processo de purificação, a água filtrada deve atender a especificações de qualidade onde o pH deve estar na faixa de 6,5 a 8,5 e a Turvação deve ser menor ou igual a 1 NTU. Portanto, nosso produto é útil como corretor de pH com concentrações não superiores a 10 p.p.m.

No jar test final, foi simulado o processo completo de pré-alcalinização, coagulação, floculação e sedimentação, utilizando cal como alcalinizador e sulfato de alumínio como

coagulante para determinar a concentração ótima de coagulante. Portanto, a dosagem de cal virgem (5 p.p.m) foi mantida fixa e diferentes concentrações de sulfato de alumínio (30 p.p.m a 80 p.p.m) foram analisadas. Parâmetros de Turvação, alcalinidade e pH foram avaliados. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela III.

	Turvação (NTU)	**Alcalinidade** (p.p.m $CaCO_3$)	**pH**
Água bruta	22	26	7,3
Água bruta + 5 p.p.m. cal virgem + 30 p.p.m de sulfato de alumínio	5,1	40	6,7
Água bruta + 5 p.p.m. cal virgem + 40 p.p.m de sulfato de alumínio	3,9	35	6,5
Água bruta + 5 p.p.m. cal virgem + 50 p.p.m de sulfato de alumínio	3,3	32	6,4
Água bruta + 5 p.p.m. cal virgem + 60 ppm de sulfato de alumínio	4,6	28	6,4
Água bruta + 5 p.p.m. cal virgem + 70 p.p.m de sulfato de alumínio	5,5	26	6,1
Água bruta + 5 p.p.m. cal virgem + 80 ppm de sulfato de alumínio	5,5	20	6,0

Tabela III: Resultados obtidos dos parâmetros de Turvação, alcalinidade e pH do jar test usando uma concentração fixa de cal virgem (5 p.p.m) e diferentes concentrações de sulfato de alumínio (30 p.p.m – 80 p.p.m).

Com base nos resultados obtidos e no que foi observado durante o teste, determinou-se que com 5 p.p.m de cal virgem a concentração ideal de sulfato de alumínio é de 50 p.p.m porque se consegue o menor valor de Turvação e um pH muito próximo do exigido pela norma. No entanto, recomenda-se trabalhar com uma concentração ligeiramente superior de cal virgem (5 < p.p.m < 10) para respeitar o intervalo de pH.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que a cal viva tem um potencial significativo para ser utilizada como alcalinizante na etapa de pré-alcalinização. Isso se baseia no aumento substancial da alcalinidade e do pH da água bruta em comparação com o alcalinizante atualmente usado na estação de tratamento de água Treinta y Tres. Por outro lado, também pode ser utilizado na etapa de pós-alcalinização como corretor de pH em água filtrada utilizando concentrações adequadas de cal virgem.

REFERÊNCIAS

1. Obras Sanitarias del Estado. 2022. Água Potable. Ose.com.uy. (2022). Recuperado el 16 junio de 2022 de http://www.ose.com.uy/Água/Água-potable

2. Obras Sanitarias del Estado. 2022. Etapas del Proceso de Potabilización. Ose.com.uy. Recuperado el 16 junio de 2022, de http://www.ose.com.uy/Água/etapas-del-proceso-de-potabilizacion

3. Obras Sanitarias del Estado. 2014. Operadores de Plantas Potabilizadoras de Águas Superficiales [PDF]. Recuperado el 18 junio de 2022 de http://www.ose.com.uy/descargas/reclutamiento/manual_de_usinas_08_2014.pdf

AMANDA FERNANDES PEREIRA DA SILVA - Graduada em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Santo Agostinho (UNIFSA), Mestra em Ciência e Engenharia dos Materiais pelo Programa de Pós-Graduação (PPGCM) da Universidade Federal do Piauí (UFPI), Doutoranda em Ciência e Engenharia dos Materiais pelo Programa de Pós-Graduação-UFPI. Foi Aluna Especial na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Atuou na área de pesquisa Materiais Magnéticos, Semicondutores e Semicondutores Magnéticos Diluídos com aplicações antibacterianas sob orientação do Professor Doutor Ramón Raudel e Professora Doutora Francisca Araújo. Além disso, seus temas de interesse são: Construção Civil, Patologia das Construções, Materiais da Construção Civil, Perícia Judicial, Concreto, Análise do Comportamento de Solos, Engenharia de Materiais, Ensino de Engenharia e Educação à Distância. Atualmente, está inserida na área de linha de pesquisa de Materiais Conjugados e Poliméricos na Universidade Federal do Piauí-UFPI.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Acero resulfurado 158, 159

Agronanotecnología 144

Água potável 200, 201, 202

Alcalinidade 200, 201, 202, 203, 204

Alimentos 74, 94

Análisis de velocidad 39, 45

B

Bicimáquinas 102, 103, 112

C

Cal virgem 200, 202, 203, 204

Campos de esfuerzo 158, 160, 162, 165, 168, 174, 179, 180, 182, 183

Captación 60, 61, 62, 63, 64, 65, 67, 68, 69, 70, 71, 187, 193, 198

Cash flow 125, 126, 127, 128, 129, 130, 132, 135, 138, 141, 142, 143

Composites cementicios 48, 49

Conservación del Patrimonio 185

Construction Management 125, 142, 143

Contractor 125, 126, 131, 132, 133, 134, 142, 143

Controlador PID 94

Cost and time integration 125

D

Diagnóstico 73, 74, 78, 82, 83, 123, 186, 196

Drones 185, 186, 188, 189, 197, 198, 199

E

Economía social y solidaria 102, 105, 106, 122, 123

Empresas metalmecánicas 73, 74

Estandarización 82, 94

F

Financial cost 125, 126, 127, 128, 129, 130, 132, 134, 135, 138, 139, 140, 141

Financial liquidity 125

Fitoxicidad 144, 145, 150, 153, 156

ÍNDICE REMISSIVO

H

Herramienta 2, 73, 78, 83, 118, 143, 159, 160, 161, 162, 164, 185, 188, 197

I

Inspección 33, 37, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198

L

Logística 1, 2, 3, 8, 13, 16, 17, 20, 23, 26, 29, 30

M

Materiales alternativos 48, 49

Mecanismo de cuatro barras 39, 40, 41, 43, 46

Mecanizado 102, 158, 159, 160, 161, 162, 179

Membranas 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 145, 155

Método de elementos finitos 158

N

Nanomateriales de carbono 144

O

Optimización 87, 94

Ordenamiento territorial 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 11, 13, 14

P

Patologías 48

Patrimonio 7, 185, 188, 189, 199

Permeación 85, 86, 90, 91

Planeación 1, 2, 5, 6, 7, 8, 10, 14, 15, 16, 17, 28, 142, 143

Planes de movilidad 1, 2, 4, 10, 11, 12, 13

Pluvial 60, 61, 62, 67, 70

Portuario colombiano 28, 29, 31, 37

Procesos 1, 1, 2, 49, 51, 57, 75, 76, 79, 83, 86, 94, 102, 104, 156, 158, 159, 160, 161, 177, 195

Puente Romano 185

Purificación 61

R

Riego 61, 62, 71, 146

ÍNDICE REMISSIVO

S

Sensores 93, 94, 95, 97, 100, 198

Sostenibilidad 2, 5, 34, 37, 50, 57, 63, 102, 104, 123, 124

T

Tecnología apropiada 102, 104, 105, 106, 112

Tecnologías de la información 39, 40

Terminales portuarios 24, 28, 31, 36

Tráfico marítimo regional 16

Transporte público 2, 4, 5, 8, 9, 11

Tratamiento de fibras 48

Z

Zeolita 144, 146, 147, 151, 152, 153

INGENIERÍA

Desenvolvimiento de procesos y productos

2

www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br
@atenaeditora
www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Ano 2023

INGENIERÍA

Desenvolvimiento de procesos y productos

2

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

@atenaeditora

www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Ano 2023